



# **UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS**

**E.A.P. DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS**

**Estudio hidrológico para la construcción de un sistema de riego en la provincia de Huari-Ancash**

## **MONOGRAFÍA**

Para optar el Título de Ingeniero Mecánico de Fluidos

## **AUTOR**

**Sonia María Astonitas Dávalos**

LIMA – PERÚ  
2014

**Bach. Sonia M. Astonitas Dávalos**

**“EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DEL RIO MOSNA”**

**Lima, Septiembre 2014**

---

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	7
CAPITULO I .....	8
<b>1. ASPECTOS GENERALES .....</b>	<b>8</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	8
1.2. GENERALIDADES.....	8
1.2.1. UBICACIÓN .....	8
1.2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PREDIOS AGRÍCOLAS.....	11
1.2.3. CLIMA .....	12
1.2.4. GEOLOGÍA .....	13
1.2.5. TOPOGRAFÍA Y FISIOGRAFÍA .....	13
1.2.6. SUELOS.....	13
1.2.7. HIDROLOGÍA.....	13
1.2.8. HIDROGRAFÍA.....	14
1.2.9. CALIDAD DEL AGUA.....	16
1.2.10. VÍAS DE ACCESO .....	16
1.2.11. PRINCIPALES ACTIVIDADES ECONÓMICAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA Y NIVELES DE INGRESO .....	18
1.2.12. ASPECTOS SOCIO ECONÓMICOS.....	19
CAPITULO II .....	21
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	21
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	21
CAPITULO III .....	22
<b>3. EVALUACIÓN HIDROLÓGICA .....</b>	<b>22</b>
3.1. CUENCA DEL RÍO MOSNA .....	22
CAPITULO IV.....	26
<b>4. METODOLOGÍA EMPLEADA .....</b>	<b>26</b>
CAPITULO V.....	27

---

<b>5. CAUDALES DE MÁXIMAS AVENIDAS .....</b>	<b>27</b>
5.1. DISPONIBILIDAD DE DATOS HIDROLÓGICOS .....	27
5.2. GENERACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA EN LA CUENCA DEL RÍO MOSNA .....	29
5.3. TRATAMIENTO PROBABILÍSTICO DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.....	31
5.3.1. DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD.....	31
5.3.2. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE VALORES EXTREMOS.....	32
5.3.3. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV.....	51
5.3.4. CALCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN .....	58
5.4. SIMULACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS USANDO EL MODELO HIDROLÓGICO HEC HMS 3.5 .....	61
5.4.1. COMPONENTES DEL PROYECTO .....	61
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	85
ANEXOS.....	86
Información Pluviométrica .....	87

---



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 01 Descripción de los predios .....	11
Cuadro N° 02 Distancias aproximadas hacia los centros poblados .....	18
Cuadro N° 03 Ubicación de la estación Chavín .....	27
Cuadro N° 04 Precipitación máxima diaria (mm) registrada en la estación Chavín .....	28
Cuadro N° 05 Precipitación máxima diaria (mm) generada en la cuenca del río Mosna .....	30
Cuadro N° 06 Precipitaciones máximas diarias anuales generadas en el río Mosna (mm) .....	33
Cuadro N° 07 Precipitación máxima diaria anual- ordenada en forma descendente .....	34
Cuadro N° 08 Posiciones de trazado .....	35
Cuadro N° 09 Posiciones de trazado - Weibull .....	36
Cuadro N° 10 Precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno - Método distribución normal .....	41
<b>Cuadro N° 11</b> Precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno - Método distribución Log Normal .....	43
Cuadro N° 12 Precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno - Método distribución Log Pearson .....	46
Cuadro N° 13 Precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno - Método distribución Gumbel Extrema Tipo I .....	48
Cuadro N° 14 Precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno - Método distribución Gumbel Modificado .....	49
Cuadro N° 15 Precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno .....	49
Cuadro N° 16 Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov –Smirnov - Distribución Normal .....	51
Cuadro N° 17 Prueba de bondad de ajuste de Smirnov Kolgomorov – Distribución Log Normal .....	52
Cuadro N° 18 Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov Smirnov – Distribución Log Pearson III .....	53
Cuadro N° 19 Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov Smirnov – Distribución Gumbel Extrema Tipo I Original .....	54
Cuadro N° 20 Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov- Smirnov para la Distribución Gumbel Extrema Tipo I Modificado .....	55
Cuadro N° 21 Resultados de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov- Smirnov .....	56
Cuadro N° 22 Tormentas de diseño para diferentes periodos de duración y periodos de retorno en función de la precipitación máxima diaria .....	57
Cuadro N° 23 Tiempos de concentración en la cuenca del río Mosna .....	60
Cuadro N° 24 Características principales de la cuenca del río Mosna .....	62
Cuadro N° 25 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno del río Mosna en la zona de Conin .....	82

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura Nº 01</b> Mapa de la provincia de Huari.....	9
Figura Nº 02 Mapa del distrito de San Marcos.....	10
Figura Nº 03 Zona del proyecto vista satelital.....	11
Figura Nº 04 Hidrografía en el área de influencia .....	15
Figura Nº 05 Río Mosna.....	16
Figura Nº 06 Centro poblado Pichiu San Pedro.....	17
Figura Nº 07 Cuenca río Mosna.....	25
Figura Nº 08 Distribución de probabilidades: Método de Weibull .....	36
Figura Nº 09 Precipitaciones máximas diarias en la cuenca del río Mosna en la zona de Conin.....	50
Figura Nº 10 Área de la cuenca del río Mosna .....	63
Figura Nº 11 Umbral de escorrentía y número de curva.....	64
Figura Nº 12 Periodo de retardo .....	64
Figura Nº 13 Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 5 años .....	65
Figura Nº 14 Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 10 años .....	66
Figura Nº 15 Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 25 años .....	67
Figura Nº 16 Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 50 años .....	68
Figura Nº 17 Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 100 años .....	69
Figura Nº 18 Caudal máximo para un periodo de retorno de 5 años .....	70
Figura Nº 19 Caudal máximo para un periodo de retorno de 10 años .....	70
Figura Nº 20 Caudal máximo para un periodo de retorno de 25 años .....	71
Figura Nº 21 Caudal máximo para un periodo de retorno de 50 años .....	71
Figura Nº 22 Caudal máximo para un periodo de retorno de 100 años .....	72
Figura Nº 23 Simulación de la tormenta para un periodo de retorno de 5 años....	73
Figura Nº 24 Hidrograma de avenida para un periodo de retorno de 5 años.....	74
Figura Nº 25 Simulación de la tormenta para un periodo de retorno de 10 años..	75
Figura Nº 26 Hidrograma de avenida para un periodo de retorno de 10 años.....	76
Figura Nº 27 Simulación de la tormenta para un periodo de retorno de 25 años..	77
Figura Nº 28 Hidrograma de avenida para un periodo de retorno de 25 años.....	78
Figura Nº 29 Simulación de la tormenta para un periodo de retorno de 50 años..	79
Figura Nº 30 Hidrograma de avenida para un periodo de retorno de 50 años.....	80
Figura Nº 31 Simulación de la tormenta para un periodo de retorno de 100 años	81
Figura Nº 32 Hidrograma de avenida para un periodo de retorno de 100 años....	82

---

## **INTRODUCCIÓN**

En la zona de los centros poblados de Pichiu de San Pedro, Pichiu Quinuaragra y Santa Cruz de Mosna del distrito de San Marcos, provincia de Huari de la región de Ancash los pobladores de dichas zonas tienen bajos rendimientos en sus cultivos lo que trae como consecuencia que sus ingresos económicos sean bajos, debido fundamentalmente a la deficiencia de agua en sus cultivos y a la falta de infraestructura de riego, lo que básicamente genera impactos negativos en el desarrollo socioeconómico de las localidades mencionadas.

Conociéndose de manera exacta la oferta de agua a nivel mensual se podrá proyectar toda una infraestructura de riego que permita disponer de mayor cantidad de agua para irrigar los terrenos de cultivo, los beneficiarios representados por sus autoridades locales, en el plan anual de inversiones han priorizado la elaboración de un estudio hidrológico a fin de conocer los parámetros de diseño para las estructuras hidráulicas que tendrá el proyecto, como alternativa de mejora de los niveles de rendimiento de los cultivos, incremento de la producción y consiguiente mejora de las condiciones de vida y bienestar económico, en la presente monografía se calculan las descargas máximas en el río Mosna para diferentes periodos necesarias para el diseño de un sistema de riego, información con la cual no se cuenta.

## **CAPITULO I**

### **1. ASPECTOS GENERALES**

#### **1.1. ANTECEDENTES**

En la zona de influencia del proyecto ubicado en el distrito de San Marcos, provincia Huari, departamento de Ancash, la principal actividad económica es la actividad agrícola la que está determinada por su entorno fisiográfico, clima, suelos y disponibilidad del recurso hídrico. Actividad principal generadora de ingresos económicos para la población, la que se ve afectada por la limitada disponibilidad de agua para riego en épocas más secas. En esta medida el proyecto contempla la instalación del servicio de agua para riego.

#### **1.2. GENERALIDADES**

##### **1.2.1. UBICACIÓN**

El proyecto políticamente pertenece:

Región	:	Ancash
Provincia	:	Huari
Distrito	:	San Marcos
Centro poblado	:	Sta. Cruz de Mosna, Pichiu Quinuaragra y Pichiu San Pedro
Sector	:	Conin - Matibamba

Siendo sus límites:

Por el norte con : Los distritos de Huachis y Huari

Por el sur con : La provincia de Bolognesi

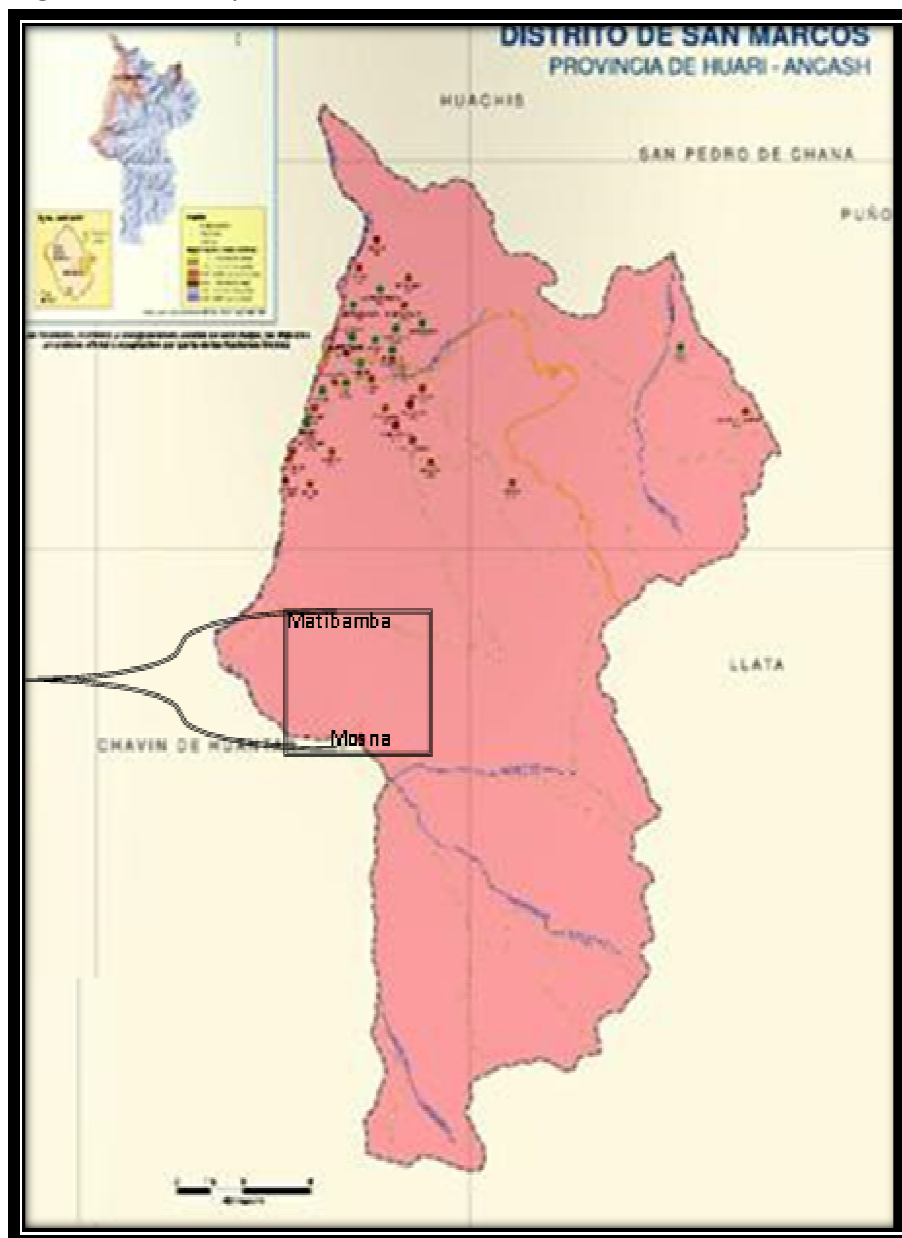
Por el oeste con : Los distritos de Huántar y Chavín de Huántar

Por el este con : El distrito de San Pedro de Chana y la provincia de Huamalíes del departamento de Huánuco

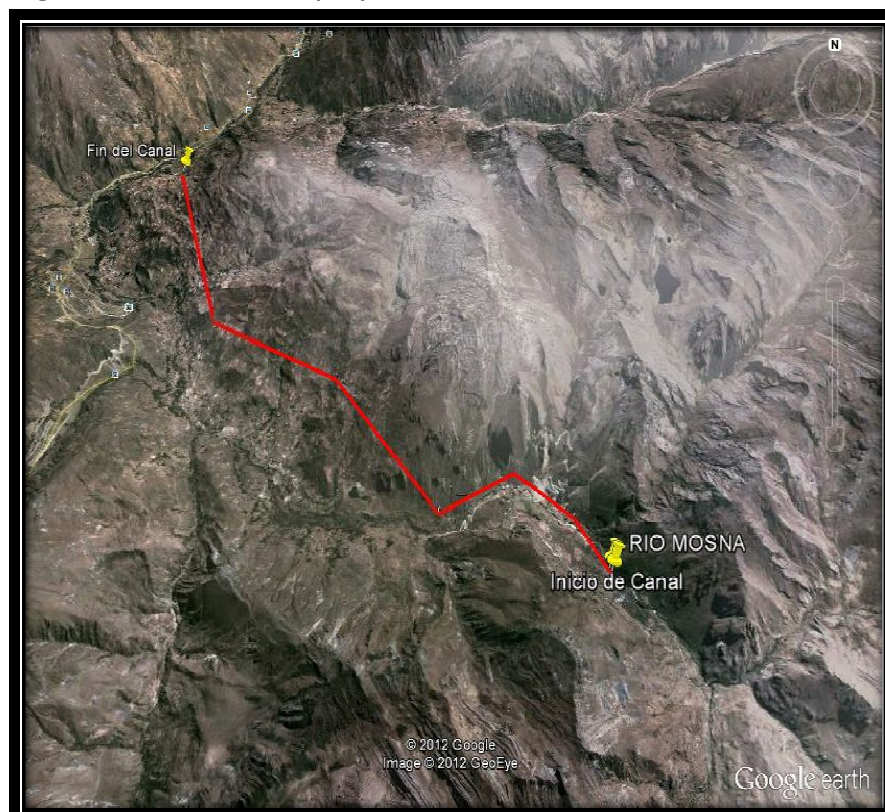
**Figura N° 01** Mapa de la provincia de Huari



**Figura Nº 02** Mapa del distrito de San Marcos



**Figura N° 03** Zona del proyecto vista satelital



### 1.2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PREDIOS AGRÍCOLAS

El área total de los predios es de 539.75 Ha, y el área beneficiada es de 500 Ha, con un total de 465 beneficiarios directos que pertenecen todos a la comisión de regantes de San Marcos como se detalla a continuación.

**Cuadro N° 01** Descripción de los predios

CENTRO POBLADO	NUMERO DE PREDIOS TOTALES
C.P. Pichiu San Pedro	350
C.P. Pichiu Quinuaragra	260
C.P. Sta. Cruz de Mosna	320
Total	930



### 1.2.3. CLIMA

Por su localización geográfica, al ámbito del proyecto, le corresponde un clima continental, con marcadas diferencias de temperatura entre el día y la noche, con una temperatura media anual de 12° C.

Las diferencias de temperatura entre el invierno y el verano son relativamente pequeñas en sus valores mínimos, y son matizadas, durante el día, por la coincidencia del invierno con la estación seca, de modo que aumenta fuertemente la insolación solar y la temperatura, mientras que en las noches aumenta el frío (con peligro de heladas).

La fluctuación de la temperatura es muy variable en un mismo día y en un mismo lugar, más aún en los diferentes pisos altitudinales.

La presencia de heladas se dan entre abril a julio, en esta época las temperaturas descienden hasta -2 °C dependiendo de la altitud.

En los meses de invierno los días son calurosos y las noches a veces con presencia de heladas que originan perdidas en los cultivos de los campesinos.

Las temperaturas más altas sobrepasan los 22 °C al aire libre y en la sombra el promedio es de 14 °C, se dan en la primavera. (Fuente: ProDesa SAC).

Los meses de mayores lluvias corresponden a los meses de octubre a marzo (primavera y verano) con un promedio de precipitación de 650 mm. Conforme va aumentando la altitud, la precipitación se incrementa llegando a sobrepasar los 890 mm y se presentan desde septiembre a abril. (Fuente: ProDesa SAC).



#### 1.2.4. GEOLOGÍA

La geología del suelo donde se ubica el distrito de San Marcos predomina el material semirocoso, manteniendo una capa de conglomerado entre 1.00 – 2.00 m de profundidad. En la cuenca media de la zona predomina el terreno con zonas rocosas y áreas de terreno para cultivos de cereales, tubérculos arborizaciones y pastizales. (Fuente: SUM Canadá).

#### 1.2.5. TOPOGRAFÍA Y FISIOGRAFÍA

La topografía del terreno es de pendiente accidentada y ondulada, en otras de regular pendiente, el recorrido del canal es de pendiente accidentada con abundante vegetación de árboles y solamente se puede llegar a ella en acémila por camino de herradura.

En sentido sur a norte las pendientes varían entre 3 – 4 % manteniendo la pendiente de los ríos que la circulan. La pendiente de este a oeste es de 1% terminando en un barranco de 20 m de profundidad que da al río Mosna.

#### 1.2.6. SUELOS

El suelo del ámbito del proyecto es conglomerado, con mezclas de arena, arcilla y limos que se fueron depositando en el transcurso del tiempo por la continua acción del intemperismo (aire, lluvia y sol).

El subsuelo por la misma condición de grava de arcillas presenta condiciones de buena consistencia y estabilidad en estado seco, pero esta consistencia disminuye en estado saturado.

#### 1.2.7. HIDROLOGÍA

La zona se caracteriza por la conformación de varias cuencas y micro cuencas tributarias del río Marañón. La jurisdicción política del distrito de

San Marcos se encuentra delimitada al oeste por el río Mosna y al este aproximadamente por la divisoria de aguas. El distrito de San Marcos, está ubicado en la margen derecha de la cuenca del río Mosna.

El área de la cuenca del río Mosna del distrito de San Marcos se caracteriza por la presencia de pronunciadas pendientes, dos estaciones climáticas (seca y lluviosa), fragilidad de suelos, escasa cobertura vegetal y propensa a la erosión de suelos, restricciones biofísicas para la actividad agropecuaria. (Fuente: ProDesa S.A.C.)

En el distrito de San Marcos, las principales fuentes de agua son la lluvia y, en menor escala, los manantiales. La lluvia se presenta entre octubre a marzo, alcanzando su máximo nivel de precipitación en enero y febrero. El periodo de estiaje comienza en abril y se extiende hasta septiembre, llegando a un mínimo en julio y agosto.

#### 1.2.8. HIDROGRAFÍA

En el ámbito del proyecto se posee como río principal al denominado Mosna, este pertenece a la región hidrográfica del Amazonas – Alto Marañón. Además el distrito de San Marcos cuenta con numerosas lagunas entre las que destacan Canrash, Pajacocha, Yanacocha, Condorcocha, Antamina, entre otras.



#### 1.2.9. CALIDAD DEL AGUA

La calidad de las aguas transportadas por el río Mosna es considerada apta para el riego de cultivos y también para fines constructivos se considera adecuada para la fabricación del concreto.

**Figura N° 05** Río Mosna



#### 1.2.10. VÍAS DE ACCESO

El distrito de san Marcos se interconecta con la capital del departamento (Huaraz), vía terrestre siguiendo la trayectoria de la vía departamental: Huaraz – Cátac, en la provincia de Recuay a Huari y de allí a San Marcos, pasando por el túnel de Kahuish.

El otro acceso puede ser desde la capital de la república, mediante la Panamericana Norte, siguiendo la ruta Pativilca – Conococha – Cátac – San Marcos, dicha vía hasta el tramo de Cátac está considerada como vía nacional.

Existe un tráfico bajo, pero con varios servicios de bus regulares y algunos turísticos por día (por las ruinas de Chavín). En las condiciones actuales un vehículo particular requiere de entre una hora y media y dos horas entre Huaraz y San Marcos, dependiendo del tráfico, un bus hasta cuatro horas.

La red vial al interior del distrito, se halla estructurada por la carretera afirmada que viene desde los distritos vecinos de Chavín de Huántar y de la capital de provincia de Huari.

En el distrito, se pueden encontrar cinco caminos principales, los cuales dirigen hacia los centros poblados del distrito, siendo los más cercanos a la capital los centros poblados de Carhuayoc y Huaripampa, en el caso de los otros 3 centros poblados, se tiene que tomar la carretera a Chavín de Huántar, para luego conducirnos por las trochas carrozables existentes hacia los centros poblados de Challhuayaco, Pichiu San Pedro y Pichiu Quinuaragra respectivamente.

**Figura Nº 06** Centro poblado Pichiu San Pedro



Asimismo cabe precisar que los caminos para los caseríos y anexos se encuentran en su mayoría en condición de trochas carrozables viables e interconectados entre sí.

La distancia de la capital de San Marcos hacia sus 5 centros poblados menores y diferentes puntos de comunicación más directas, se resume en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 02** Distancias aproximadas hacia los centros poblados

De San Marcos a	Distancia (Km.)	Tiempo en vehículo	Tiempo a pie
Carhuayoc	4	20 minutos	1 hora con 20 minutos
Challhuayaco	11	50 minutos	2 horas con 30 minutos
Huaripampa Bajo	3.5	15 minutos	45 minutos
Pichiu Quinuaragra	17	50 minutos	3 horas
Pichiu San Pedro	19	1 hora	3 horas con 20 minutos
Cátac	82	2 horas	8 horas

Para acceder a la zona del proyecto (Sector Conin – Matibamba), se ingresa por el extremo de Conin se toma el cruce ubicado al lado este en el de la carretera Cátac – Huari y se desarrolla un tramo aproximado de 10 Km. hasta San Pedro de Pichiu para luego dirigirse al caserío de Conin.

#### 1.2.11. PRINCIPALES ACTIVIDADES ECONÓMICAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA Y NIVELES DE INGRESO

La economía del distrito de San Marcos históricamente se ha basado en la agricultura, desarrollándose también junto a ella la ganadería, el comercio entre otros, no obstante en la actualidad la principal fuente de desarrollo la adquiere gracias al canon y regalías mineras.

Como se mencionó, la base de la economía es la agricultura, tanto en el distrito como en el área afectada. La producción agrícola está constituida en buena parte por cultivos transitorios (papa, cebada, trigo, oca, olluco, maíz, arveja y habas).

El tipo de agricultura que se desarrolla principalmente en la zona en estudio es incipiente en pequeñas parcelas y en su mayoría para el autoconsumo, siendo sus resultados en la actualidad un bajo nivel de rentabilidad adquirida, lo cual contribuye a que la población abandone esta actividad y migre hacia otros territorios; abasteciendo principalmente su autoconsumo y en menor proporción el mercado local de San Marcos y Huaraz.

Con respecto al área de estudio se debe señalar que en las localidades involucradas se desarrolla mayoritariamente actividades primarias tales como la agricultura y la ganadería, lo cual es concordante con los recursos con los que cuentan, y en forma complementaria la venta local de animales menores, siendo sus márgenes de ganancia, relación directa de la oferta y demanda.

#### 1.2.12. ASPECTOS SOCIO ECONÓMICOS

La población afectada, por el problema, corresponde al área de intervención, que en este caso está conformada por pobladores adscritos a los centros poblados Pichiu San Pedro, Pichiu Quinuaragra y Santa Cruz de Mosna.

##### a. Situación socioeconómica del área afectada

En las localidades afectadas la pobreza es extrema con un bajo nivel de vida. Según encuesta socioeconómica realizada se observa que la población está constituida básicamente por agricultores y ganaderos. Se ha estimado que el poblador cuenta

con un ingreso promedio mensual de S/.300.00 nuevos soles (INEI).

b. Indicadores demográficos del área afectada

La mayor parte de la población migra hacia a las ciudades de Chimbote y Lima buscando oportunidades de estudio y trabajo. Las condiciones alimentarias en el área de estudio muestran una situación no regular, habiendo una relativa disponibilidad de productos agrícolas y pecuarios que no son suficientes en cantidad y calidad para sostener a la familia de agricultores estando en condiciones de desventaja frente a otras zonas.



## **CAPITULO II**

### **2. OBJETIVOS**

#### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar un estudio hidrológico del río Mosna que permita obtener información necesaria para el diseño de un sistema de riego.

#### **2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO**

Calculo de las descargas máximas probables para diferentes periodos de retorno, que se utilizará para el diseño de una infraestructura de captación para el sistema de riego.

Básicamente esta información será utilizada para el dimensionamiento del sistema de riego que permitirá atender a los agricultores en época de estiaje y por ende mejorar sus ingresos económicos elevando de esta manera su calidad de vida.

## **CAPITULO III**

### **3. EVALUACIÓN HIDROLÓGICA**

#### **3.1. CUENCA DEL RÍO MOSNA**

El proyecto se ubica en la cuenca del Río Marañón, sub cuenca del Río Puchca y microcuenca del río Mosna, ubicado en la sierra central del Perú. Se extiende desde la quebrada Ishpaj que se encuentran a 3,900 m.s.n.m., hasta su desembocadura que se halla a 3,500 m.s.n.m.

La cuenca del río Mosna se ubica en la sierra central del Perú, pertenece a la vertiente del Marañón y drena un área total de 128,500 Ha.

Altitudinalmente, se extiende desde los nevados de Cajat que se encuentran a 5,504 msnm, hasta la desembocadura al río Marañón que se halla a 1,970 msnm. y una longitud aproximada de 92 km, presentando una pendiente promedio de 3.84%.

El drenaje general de área del Callejón de Conchucos, se realiza a través de las cuencas de los ríos Rúpac, Yanamayo y Puchca los cuales a su vez conforman parte de la cuenca del río Marañón.

La cuenca del río Rúpac, ubicada al norte del Callejón de Conchucos está formada principalmente por el río Sihuas y el río Chullín y sus tributarios, al norte de la provincia de Sihuas.

La cuenca del río Yanamayo, ubicada en la zona central del área estudiada, conformado por los ríos Pomabamba y Asnococho con sus tributarios, abarca las provincias de Pomabamba y Luzuriaga.

La cuenca del río Puchca está formada por las cuencas de los ríos Huauri y Mosna. El río Mosna tiene un recorrido de sur a norte y cubre una distancia de 48.0 km., recibiendo afluentes menores en su recorrido.

El río Mosna, por la margen izquierda recibe aguas de sus afluentes: Ríos Quellayacu, Rurichinchay, Blanco, Carhuascancha y Huari.

Según la distribución de la precipitación, la cuenca puede ser dividida en dos sectores. La cuenca “semi-seca” comprendida desde la descarga en el río Marañón y la cota 2,000 m.s.n.m. en donde la precipitación fluvial anual es del orden de 500 mm. El otro sector corresponde a la denominada “cuenca húmeda” comprendida entre 2,000 y 4,200 m.s.n.m., cuyo promedio de precipitación anual oscila entre 500 y 1,200 mm. respectivamente, constituyendo de esta manera el área de aporte efectivo de agua de esorrentía superficial y de agua subterránea.

Por la margen derecha recibe aguas de los ríos Huamanguay, Carash y Colca. De la confluencia de los ríos Huari y Mosna se forma el río Pushca que hace un recorrido de 44 km. Hasta la descarga en el río Marañón, en la provincia de Antonio Raymondi, en su recorrido recibe como afluentes el río Colca, las quebradas San Jerónimo, Quechuaragra, Chinchiragra, Callash y Chullpa.

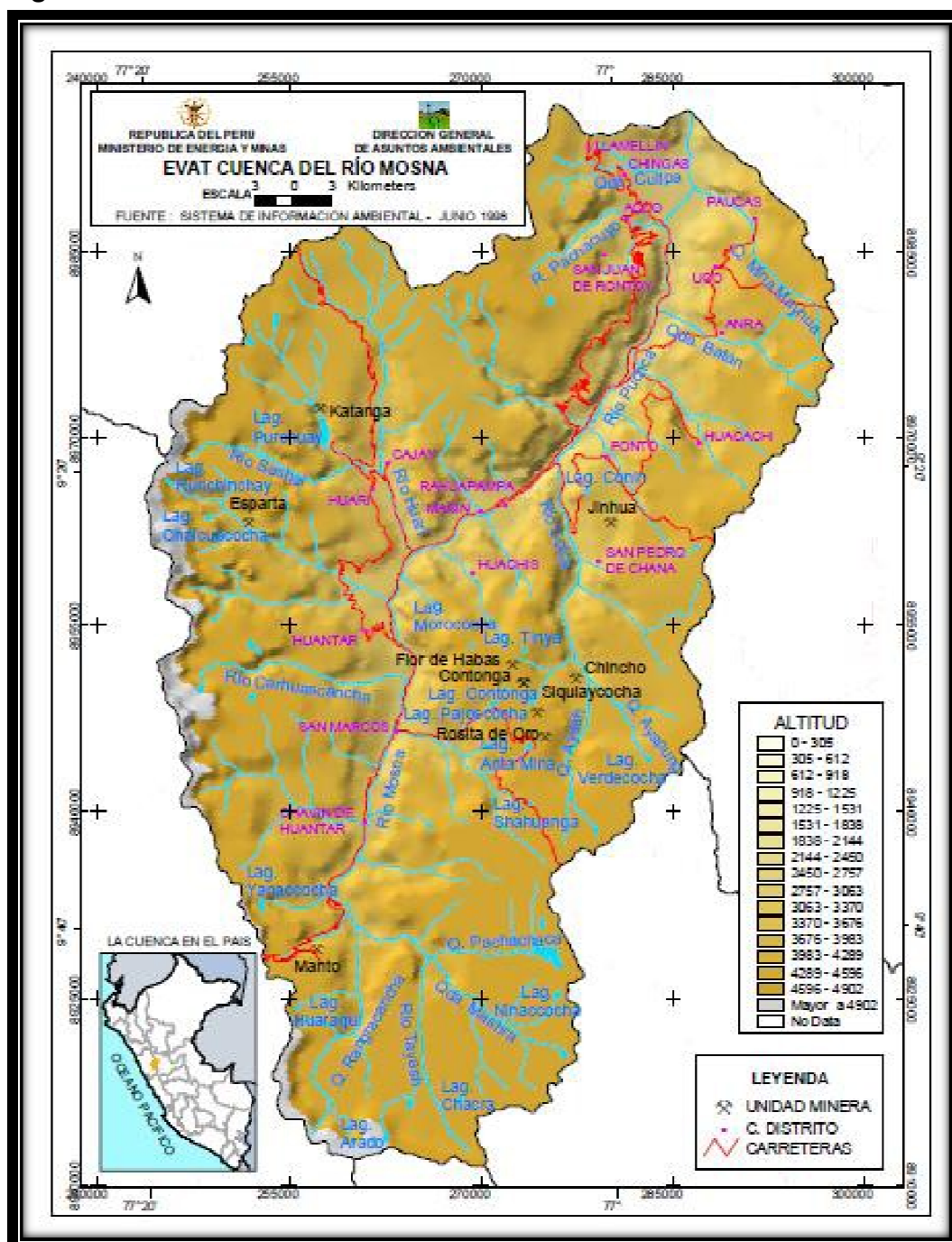
La cuenca presenta nevados (Cajat) que contribuyen al mejoramiento del régimen de descargas del río Mosna en el período de estiaje, el caudal de esorrentías se incrementan con las precipitaciones estacionales.

La cuenca del río Mosna es de fondo profundo y quebrado con una pendiente apreciable, presentando un relieve escarpado y abrupto propiciando un flujo torrencioso y turbulento, principalmente en época de avenidas.

Las variaciones estacionales del régimen de descargas están en relación directa al comportamiento de las precipitaciones pluviales que ocurren en la cuenca húmeda; ya que no existen nevados de importancia que le den al río una capacidad de autorregulación material, no se ha construido embalses de regulación estacional que pudieran modificar el comportamiento natural de la escorrentía.

Debido a las constantes crecidas del río Mosna, en toda su historia, se presenta evidencias de peligro, observándose las fisuras paralelas al curso del río en las partes bajas de la población por causa del continuo proceso de socavación, el río se llevó los arbustos y vegetaciones del margen derecho y posteriormente parte de los terrenos cultivables, de esta manera aceleró el proceso de socavación y por consiguiente la inestabilidad del talud natural de la ribera, produciéndose asentamientos considerables en cadena a lo largo del eje transversal del cauce del río.

Figura N° 07 Cuenca río Mosna



## **CAPITULO IV**

### **4. METODOLOGÍA EMPLEADA**

1. Recopilar datos necesarios para el estudio:
  - Datos de la cuenca en estudio: Superficie, pendiente, longitud del cauce principal, etc.
  - Precipitaciones en estaciones de la zona en estudio o cercanas.
2. Análisis de Frecuencia: Obtención de precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno mediante diversos métodos de distribución probabilísticos.
3. Elección de las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno por el método de distribución más adecuado: Prueba de bondad de ajuste (Método de Kolmogorov Smirnov).
4. Análisis de tormenta: Distribución de las precipitaciones máximas obtenidas para diferentes periodos de tiempo y diferentes periodos de retorno.
5. Mediante el Software HEC-HMS 3.5, ingresando los datos de precipitaciones obtenidas para diferentes periodos de retorno y el ingreso de las características de la cuenca en el software, se obtendrán los caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

## CAPITULO V

### 5. CAUDALES DE MÁXIMAS AVENIDAS

#### 5.1. DISPONIBILIDAD DE DATOS HIDROLÓGICOS

Como no se tiene información de registros de caudales máximos se ha calculado las descargas máximas a partir de las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Chavín, la estación más cercana.

**Cuadro N° 03** Ubicación de la estación Chavín

Estación :	Chavín / 000445 / DRE - 04
Fuente:	SENAMHI
Parámetro:	Precipitación Máxima Diaria (mm)
Latitud S:	09° 35' "S"
Longitud O:	79° 10' "W"
Altitud:	3210 m.s.n.m.
Departamento:	Ancash
Provincia:	Huari
Distrito	Chavín de Huántar

En el cuadro N° 04, se muestran los valores de la serie histórica de precipitaciones máximas diarias, registradas en la estación Chavín; la serie tiene una longitud de 19 años.

**Cuadro N° 04** Precipitación máxima diaria (mm) registrada en la estación Chavín

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	P <sub>max</sub>
1986	S/D	14.10	6.60	11.40	8.50	2.00	5.20	9.40	26.60	S/D	S/D	S/D	26.60
1987	S/D	S/D	20.00	15.10	5.90	6.30	7.20	7.90	13.60	13.80	15.20	18.80	20.00
1988	19.60	12.80	13.30	22.10	4.60	0.00	0.00	0.00	13.50	13.80	9.60	13.60	22.10
1989	14.10	19.50	15.10	17.10	6.40	8.10	1.90	7.20	14.90	10.30	14.90	21.20	21.20
1990	13.40	19.90	22.50	12.90	10.40	17.20	6.70	0.00	11.20	23.20	10.40	19.00	23.20
1991	15.80	18.20	19.90	13.50	9.30	4.10	2.80	0.00	16.00	11.50	19.20	16.10	19.90
1992	9.10	19.70	13.80	9.80	0.00	2.80	2.40	14.50	5.60	8.50	17.10	18.70	19.70
1993	26.60	22.60	17.20	9.90	5.90	2.80	5.00	7.10	23.10	13.60	24.90	31.70	31.70
1994	20.00	24.10	18.20	24.40	4.80	8.40	0.00	0.00	23.70	18.30	17.30	13.60	24.40
1995	14.20	23.80	20.40	18.40	20.60	14.10	1.00	0.00	10.50	27.40	21.40	24.20	27.40
1996	20.00	17.20	17.50	27.50	12.10	2.40	0.00	8.80	9.90	10.10	9.20	14.80	27.50
1997	19.80	13.00	21.00	5.70	6.00	1.50	1.40	4.60	11.60	12.40	15.90	11.70	21.00
1998	18.40	18.00	10.10	12.80	5.60	3.00	0.00	3.70	4.30	10.70	32.60	11.00	32.60
1999	17.50	26.10	19.90	11.90	8.20	5.30	2.90	2.10	11.00	14.70	17.00	10.70	26.10
2000	10.20	19.30	11.20	17.70	7.70	3.20	3.70	12.00	5.80	3.70	13.20	14.50	19.30
2001	13.60	11.90	16.50	10.60	9.10	1.90	2.90	6.90	8.70	22.50	13.20	18.60	22.50
2002	7.70	13.10	21.50	16.00	8.40	1.80	6.50	2.60	5.60	9.40	12.80	13.80	21.50
2003	8.50	15.20	20.40	8.80	7.00	6.70	1.00	15.30	5.10	8.30	11.00	15.40	20.40
2004	9.40	17.50	6.30	4.40	4.70	6.60	5.20	2.90	11.70	15.10	13.20	15.80	17.50
													23.4

S/D : Sin Dato      Fuente: SENAMHI



## 5.2. GENERACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA EN LA CUENCA DEL RÍO MOSNA

Como la estación Chavín se encuentra a una altitud diferente a la zona de estudio, se aplica un coeficiente de corrección de acuerdo al método propuesto en el estudio regional “Hidrología del Perú” IILA – UNI - SENAMHI 1983 el cual divide al territorio peruano en zonas y sub zonas pluviométricas, encontrándose el área de estudio en la zona 5a8 (Anexo 01); correspondiéndole la siguiente ecuación de precipitación:

$$M = 24 + 0.0025*Y$$

Dónde:

Y: Altitud media de la zona de estudio = 3740 m.s.n.m.

Por lo tanto:  $M_{IILA} = 33.35$

El coeficiente de corrección (F.C.), se calcula con la relación de promedios anuales, es decir el cociente entre el promedio de las precipitaciones diarias máximas anuales de la estación Base Chavín y de la calculada por el IILA:

Relación con promedios:

- Estación Base Chavín:  $M_{E.B.} = 23.40$
- Calculado con el IILA:  $M_{IILA} = 33.35$

Coeficiente de corrección:  $F.C. = M_{IILA} / M_{E.B.}$

Por lo tanto:  $F.C. = 1.43$

Utilizando este coeficiente de corrección se obtiene el cuadro N° 05

**Cuadro N° 05** Precipitación máxima diaria (mm) generada en la cuenca del río Mosna

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Pmax
1986	S/D	20.10	9.41	16.25	12.11	2.85	7.41	13.40	37.91	S/D	S/D	S/D	37.91
1987	S/D	S/D	28.50	21.52	8.41	8.98	10.26	11.26	19.38	19.67	21.66	26.79	28.50
1988	27.93	18.24	18.96	31.50	6.56	0.00	0.00	0.00	19.24	19.67	13.68	19.38	31.50
1989	20.10	27.79	21.52	24.37	9.12	11.54	2.71	10.26	21.24	14.68	21.24	30.21	30.21
1990	19.10	28.36	32.07	18.39	14.82	24.51	9.55	0.00	15.96	33.06	14.82	27.08	33.06
1991	22.52	25.94	28.36	19.24	13.25	5.84	3.99	0.00	22.80	16.39	27.36	22.95	28.36
1992	12.97	28.08	19.67	13.97	0.00	3.99	3.42	20.67	7.98	12.11	24.37	26.65	28.08
1993	37.91	32.21	24.51	14.11	8.41	3.99	7.13	10.12	32.92	19.38	35.49	45.18	45.18
1994	28.50	34.35	25.94	34.78	6.84	11.97	0.00	0.00	33.78	26.08	24.66	19.38	34.78
1995	20.24	33.92	29.07	26.22	29.36	20.10	1.43	0.00	14.96	39.05	30.50	34.49	39.05
1996	28.50	24.51	24.94	39.19	17.25	3.42	0.00	12.54	14.11	14.39	13.11	21.09	39.19
1997	28.22	18.53	29.93	8.12	8.55	2.14	2.00	6.56	16.53	17.67	22.66	16.68	29.93
1998	26.22	25.65	14.39	18.24	7.98	4.28	0.00	5.27	6.13	15.25	46.46	15.68	46.46
1999	24.94	37.20	28.36	16.96	11.69	7.55	4.13	2.99	15.68	20.95	24.23	15.25	37.20
2000	14.54	27.51	15.96	25.23	10.97	4.56	5.27	17.10	8.27	5.27	18.81	20.67	27.51
2001	19.38	16.96	23.52	15.11	12.97	2.71	4.13	9.83	12.40	32.07	18.81	26.51	32.07
2002	10.97	18.67	30.64	22.80	11.97	2.57	9.26	3.71	7.98	13.40	18.24	19.67	30.64
2003	12.11	21.66	29.07	12.54	9.98	9.55	1.43	21.81	7.27	11.83	15.68	21.95	29.07
2004	13.40	24.94	8.98	6.27	6.70	9.41	7.41	4.13	16.68	21.52	18.81	22.52	24.94

### 5.3. TRATAMIENTO PROBABILÍSTICO DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Según Chow, et al., (1994), un conjunto de observaciones de  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , de la variable aleatoria, se denomina muestra. Una muestra es sacada de una población hipotéticamente infinita, que posee propiedades estadísticas constantes. Las propiedades de una muestra pueden cambiar de una muestra a otra y el conjunto de todas las muestras posibles que pueden extraerse de una población, se conoce como espacio muestral, y un evento es un subconjunto muestral.

Si las observaciones de una muestra están idénticamente distribuidas, éstas pueden ordenarse para formar un histograma de frecuencia. Ahora bien, si el número de observaciones  $n_i$  en el intervalo  $i$  que cubre un cierto rango, se divide por el número total de observaciones  $n$ , el resultado se conoce como frecuencia relativa. Asimismo, la suma de los valores de la frecuencia relativa hasta un punto dado, es la función de frecuencia acumulada, y en su límite, cuando  $n \rightarrow \infty$  y  $\Delta x \rightarrow 0$ , se denomina función de distribución de probabilidad.

Desde el punto de vista de ajuste de la información de la muestra a una distribución teórica, las cuatro funciones (frecuencia relativa y frecuencia acumulada, para la muestra y para la población, distribución de probabilidad y densidad de probabilidad), pueden ordenarse en un ciclo. El ciclo puede cerrarse, calculando un valor teórico de la función de frecuencia relativa, denominado la función de probabilidad incrementada (Chow et al., 1994).

#### 5.3.1. DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD

El diseño y la planeación de obras hidráulicas, están siempre relacionados con eventos hidrológicos futuros, cuyo tiempo de ocurrencia

no puede predecirse; es por eso que se debe recurrir al estudio de la probabilidad o frecuencia (Linsley et al., 1988).

Según Pizarro y Novoa (1986), la definición de la probabilidad implica consignar dos conceptos; uno de ellos es el periodo de retorno, el cual está definido, como el tiempo que transcurre entre dos sucesos iguales; sea ese tiempo,  $T$ . El segundo concepto es la probabilidad de excedencia, que es la probabilidad asociada al periodo de retorno, donde la variable aleatoria toma un valor igual o superior a cierto número  $X$  y se define como:

$$P(x) = 1/T$$

La probabilidad de que un valor de la variable aleatoria no sea excedido, está dado por la función de distribución de probabilidad  $F(x)$ , la cual se expresa de la siguiente manera.

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = P_{(x \leq X)} = 1 - \frac{1}{T}$$

Luego la probabilidad de que la variable aleatoria sea mayor que  $X$ , se expresa como:

$$P_{(x > X)} = 1 - F(x) = \frac{1}{T}$$

### 5.3.2. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE VALORES EXTREMOS

En este apartado se describe el análisis de frecuencia de valores extremos referido a precipitaciones, es decir el análisis a que son sometidas las precipitaciones máximas diarias anuales. El objeto es calcular las precipitaciones máximas diarias anuales para diferentes periodos de retorno. La serie que abarca toda la información disponible es denominada serie de duración completa. La serie anual máxima se obtiene eligiendo el valor máximo de cada año, valores que son

independientes del tiempo, Cuadro N° 06, que corresponde a las precipitaciones máximas diarias anuales generadas para el río Mosna.

**Cuadro N° 06** Precipitaciones máximas diarias anuales generadas en el río Mosna (mm)

AÑO	Pmax
1986	37.91
1987	28.50
1988	31.50
1989	30.21
1990	33.06
1991	28.36
1992	28.08
1993	45.18
1994	34.78
1995	39.05
1996	39.19
1997	29.93
1998	46.46
1999	37.20
2000	27.51
2001	32.07
2002	30.64
2003	29.07
2004	24.94

a. Posiciones de Trazado

Una vez seleccionada la serie con la que se va a realizar el análisis de frecuencia se ordenan los valores de mayor a menor, prescindiendo del año de ocurrencia.

**Cuadro N° 07** Precipitación máxima diaria anual- ordenada en forma descendente

Nº	Pmax
1	46.46
2	45.18
3	39.19
4	39.05
5	37.91
6	37.20
7	34.78
8	33.06
9	32.07
10	31.50
11	30.64
12	30.21
13	29.93
14	29.07
15	28.50
16	28.36
17	28.08
18	27.51
19	24.94

Luego es necesario asignarle a cada valor una probabilidad de excedencia. Esta probabilidad de excedencia o frecuencia (P) que se asigna a cada valor de la serie es lo que se conoce como posición de trazado. Su inversa es el período de retorno (T).

A través del tiempo diferentes autores han desarrollado fórmulas para determinar posiciones de trazado (Cuadro N° 08).

**Cuadro N° 08** Posiciones de trazado

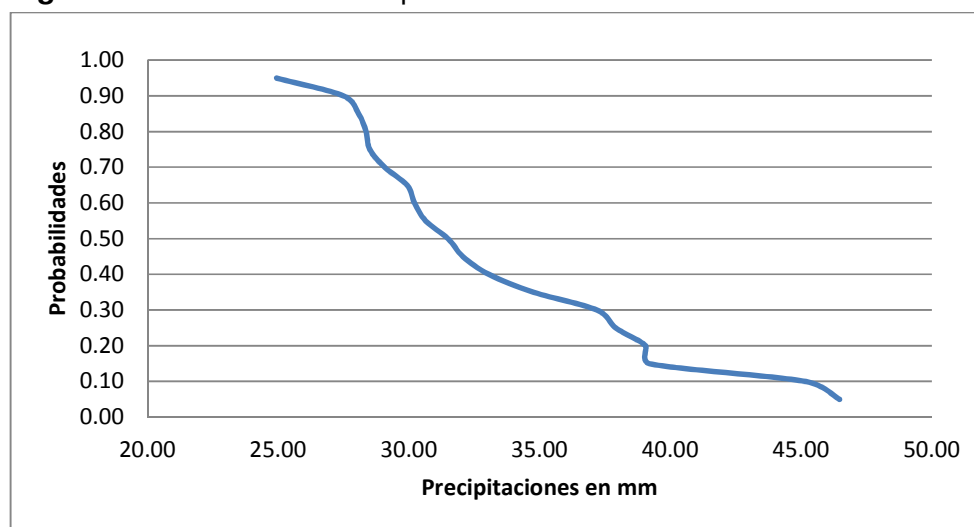
NOMBRE	AÑO	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA (P)	N =19			
			m = 1		m = 5	
			P	T	P	T
California	1923	$\frac{m}{N}$	0.05	19.00	0.26	3.80
Hazen	1930	$\frac{(2 * m - 1)}{2 * N}$	0.03	38.00	0.24	4.22
Weibull	1939	$\frac{m}{N + 1}$	0.05	20.00	0.25	4.00
Chegodayev	1955	$\frac{m - 0.3}{N + 0.4}$	0.04	27.71	0.24	4.13
Blom	1958	$\frac{m - \frac{3}{8}}{N + \frac{1}{4}}$	0.03	30.80	0.24	4.16
Tukey	1962	$\frac{3 * m - 1}{3 * N + 1}$	0.03	29.00	0.24	4.14
Gringorten	1963	$\frac{m - 0.44}{N + 0.12}$	0.03	34.14	0.24	4.19

De todas las fórmulas de distribución propuestas la que mejor aceptación ha tenido hasta el momento es la de Weibull cuyos resultados se muestran en el Cuadro N° 09.

**Cuadro N° 09** Posiciones de trazado - Weibull

m	P <sub>max</sub>	P	T
1	46.46	0.050	20.00
2	45.18	0.100	10.00
3	39.19	0.150	6.67
4	39.05	0.200	5.00
5	37.91	0.250	4.00
6	37.20	0.300	3.33
7	34.78	0.350	2.86
8	33.06	0.400	2.50
9	32.07	0.450	2.22
10	31.50	0.500	2.00
11	30.64	0.550	1.82
12	30.21	0.600	1.67
13	29.93	0.650	1.54
14	29.07	0.700	1.43
15	28.50	0.750	1.33
16	28.36	0.800	1.25
17	28.08	0.850	1.18
18	27.51	0.900	1.11
19	24.94	0.950	1.05

**Figura N° 08** Distribución de probabilidades: Método de Weibull





- b. Métodos de distribuciones de probabilidades utilizadas para el cálculo de las precipitaciones máximas diarias

Entre los métodos estadísticos más usados en hidrología, se consideran los siguientes:

- i. Distribución Normal
- ii. Distribución Log – Normal
- iii. Distribución Log – Pearson III
- iv. Distribución Gumbel
- v. Distribución Gumbel Modificada

Con la finalidad de ajustar la serie anual de precipitaciones máximas diarias del río Mosna, se analizó la serie disponible para las diferentes distribuciones referidas.

- i. Distribución Normal

a. FUNCIÓN DE DENSIDAD

La función de densidad de distribución normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}S} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{x-\bar{X}}{S}\right]^2}$$

Para  $-\infty < x < +\infty$

Dónde:

$f(x)$ : Función de densidad normal de la variable  $x$

$x$ : Variable independiente

$\bar{X}$ : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de  $x$  ( $\mu$ )

$S$ : Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de  $x$ . ( $\sigma$ )

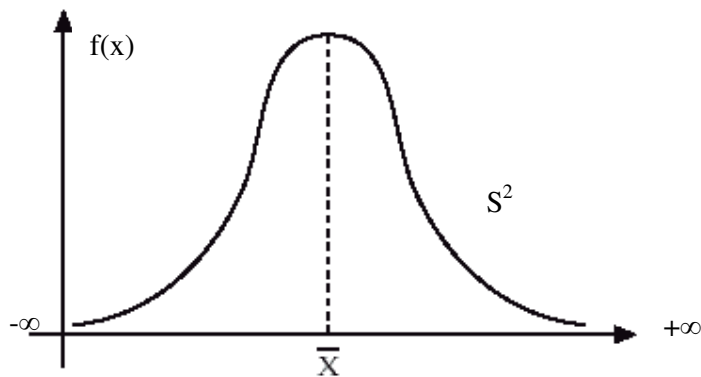
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2} \quad (1)$$

Cuando la variable aleatoria  $X$  se distribuye normalmente con media  $\mu = \bar{X}$  y varianza  $\sigma^2 = S^2$ , se denota de la siguiente forma:

$$X \approx N(S^2, \bar{X})$$

El gráfico de la función densidad de la distribución normal se muestra en la figura N°09, y es como se observa una función continua y simétrica respecto a  $\bar{X}$ .

**Figura N° 09** Función densidad de la distribución normal



$$\text{Si: } Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2)$$

La función densidad de  $Z$ , es llamada función densidad de la distribución normal estándar y tiene la siguiente expresión:

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}Z^2} \quad (3)$$

Para  $-\infty < x < +\infty$

Los valores de  $f(x)$  ó  $f(z)$  pueden ser fácilmente evaluados para un valor de  $x$  o de  $z$  por las ecuaciones (1) ó (3), respectivamente.

Una característica fundamental de la distribución normal estándar es que tiene  $\mu_z = 0$  y  $\sigma_z^2 = 1$ , es decir:  $Z \approx N(0,1)$

b. FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULADA

La función de distribución acumulada de la distribución normal es la integral de la ecuación (1):

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \dots\dots (4)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{\frac{-1}{2}\left[\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right]^2} dx \dots\dots(5)$$

O su equivalente,

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int e^{\frac{-z^2}{2}} dz \dots\dots (6)$$

Donde  $F(x)$  es la función de distribución de probabilidad normal para la variable original  $X$ , según la ecuación (5), o también para la variable estandarizada  $Z$  según ecuación (6) es decir  $F(x) = F(z)$  esta función de distribución tiene las siguientes propiedades:

$$F(-\infty) = 0$$

$$F(\mu) = 0.5$$

$$F(+\infty) = 1$$

c. CALCULO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULADA

Para realizar cálculos computacionales de  $F(z)$ , se utilizan funciones de aproximación, dentro de los cuales se pueden mencionar a:

Abramowitz y Stegun (1965): Han dado varias aproximaciones para la función de distribución  $F(z)$  de la variable normal estandarizada  $Z$ , una aproximación polinomial con un error menor que  $10^{-5}$  es:

$$\left. \begin{aligned} F(z) &= H(z) & Z > 0 \\ F(z) &= 1 - H(z) & Z < 0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Dónde:

$$H(z) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} * e^{\frac{-z^2}{2(b_1q + b_2q^2 + b_3q^3)}} \dots\dots\dots (8)$$

Siendo:

$$q = \frac{1}{1 + b_0|z|}$$

$$b_0 = 0.33267 \quad b_1 = 0.43618 \quad b_2 = -0.12017 \quad b_3 = 0.93730$$

Masting (1955), ha dado una aproximación polinomial. Esta aproximación con un error menor que  $7.5 \times 10^{-8}$ , es:

Dónde: 
$$W = \frac{1}{1 + 0.2316419|z|}$$

Siendo las constantes:  $b_1 = 0.319381530$   $b_2 = -0.356563782$   
 $b_3 = 1.781477937$   $b_4 = -1.821255978$   $b_5 = 1.330274429$

Ecuación de factor de frecuencia (Chow, 1951)

$$X_T = \mu + K_T * \sigma$$

Dónde:

$X_T$ : Magnitud de un evento hidrológico extremo

$\mu$ : Media

$K_T$ : Factor de frecuencia

El factor de frecuencia puede expresarse utilizando la ecuación anterior como:

$$K_T = \frac{X_T - \mu}{\sigma}$$

Este es el mismo valor de la variable normal estándar z.

El valor de z correspondiente a una probabilidad de excedencia P (P=1/T) puede calcularse encontrando el valor de una variable intermedia w:

$$w = \left[ \ln \left( \frac{1}{P} \right) \right]^{1/2} \quad (0 < P \leq 0.5)$$

Y luego calculando z utilizando la aproximación

$$Z = w - \frac{2.515517 + 0.802853 * w + 0.010328 * w^2}{1 + 1.432788 * w + 0.189269 * w^2 + 0.001308 * w^3}$$

**Cuadro Nº 10** Precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno - Método distribución normal

T (años)	P	w	z	P <sub>max</sub> (mm)
2	0.5000	1.1774	0.0000	33.35
5	0.2000	1.7941	0.8415	38.40
10	0.1000	2.1460	1.2817	41.05
25	0.0400	2.5373	1.7511	43.87
50	0.0200	2.7971	2.0542	45.69
100	0.0100	3.0349	2.3268	47.33
200	0.0050	3.2552	2.5762	48.82
500	0.0020	3.5255	2.8785	50.64
1000	0.0010	3.7169	3.0905	51.91

ii. Distribución Log-Normal

Según Mejía (1991), por el teorema del límite central, si  $X$  es una variable aleatoria con distribución normal, se puede esperar una variable  $y = \ln x$ , también con distribución normal con media  $\mu_y$ , y varianza  $\sigma_y^2$  se usan estos parámetros para especificar que la distribución es logarítmica, puesto que también puede usarse la media y la varianza de  $x$ .

a. FUNCIÓN DENSIDAD

La función densidad de distribución normal para  $Y$  es:

$$F(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2} \dots\dots (10)$$

Para  $-\infty < x < +\infty$

Refiriendo la función de distribución de  $f(y)$  con  $f(x)$ , se tiene:

$$f(x) = f(y) \left| \frac{dy}{dx} \right| \quad \text{Como: } y = \ln x \Rightarrow \left| \frac{dy}{dx} \right| = \frac{1}{x} \quad X > 0$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x} \sigma_y} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2} \quad \text{Para } X > 0 \dots\dots (11)$$

$f(y)$  = es la función de densidad de la distribución normal para  $y$  con media  $\mu_y$ , y varianza  $\sigma_y^2$

$f(x)$  = es la función de densidad de la distribución Log-Normal para  $X$  con parámetro  $\mu_y$ , y  $\sigma_y^2$ .

Las tablas de distribución normal estándar pueden ser usadas para evaluar la distribución Log Normal.

Como  $f(x) = f(y)/x$ ; pero  $f(y)$  es una distribución normal tenemos:  $f(x) = f(z)/x\sigma_y$ .

b. FUNCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ACUMULADA

La función de distribución acumulada para X e Y es:

$$F(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^x \frac{1}{x\sigma_y} e^{\frac{-1}{2} \left[ \frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y} \right]^2} dx \dots\dots (12)$$

$$F(y) = \frac{1}{2\pi} \int_{y-\infty}^y e^{\frac{-1}{2} \left[ \frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right]^2} dy \dots\dots\dots (13)$$

$$Z = \frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \dots\dots\dots (14)$$

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{\frac{-z^2}{2}} dz \dots\dots\dots (15)$$

Para la distribución log normal, se aplica el mismo procedimiento de la distribución normal excepto que este se aplica a los logaritmos de las variables y su media y desviación estándar son usadas para la generación de caudales. En el cuadro N° 11 se muestra los resultados de los análisis utilizando esta distribución.

**Cuadro N° 11** Precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno - Método distribución Log Normal

T (años)	P	w	z	Log Pmax	Pmax (mm)
2	0.5000	1.1774	0.0000	1.517	32.87
5	0.2000	1.7941	0.8415	1.580	38.00
10	0.1000	2.1460	1.2817	1.613	40.99
25	0.0400	2.5373	1.7511	1.648	44.44
50	0.0200	2.7971	2.0542	1.670	46.82
100	0.0100	3.0349	2.3268	1.691	49.07
200	0.0050	3.2552	2.5762	1.709	51.22
500	0.0020	3.5255	2.8785	1.732	53.96
1000	0.0010	3.7169	3.0905	1.748	55.96

### iii. Distribución Log-Pearson Tipo III

Según Chow, 1995 la distribución Log-Pearson Tipo III se desarrolló como un método para ajustar una curva a cierta información. Su uso está justificado porque se ha encontrado que arroja buenos resultados e muchas aplicaciones, particulares para la información de picos crecientes. Cuando Log X es simétrico alrededor de su media, la distribución Log-Pearson Tipo III se reduce a la distribución Log Normal.

El ajuste de la distribución a la información puede probarse utilizando la prueba  $X^2$ . La localización del límite  $X_0$  en la distribución Log-Pearson Tipo III depende de la asimetría de la información, se plantea 2 casos:

Si la información tiene asimetría positiva, entonces  $\text{Log } x > X_0$  y  $X_0$  es un límite inferior.

Si la información tiene asimetría negativa,  $\text{Log } x < X_0$  y  $X_0$  es un límite superior.

#### a. FUNCIÓN DENSIDAD

El primer paso es tomar los logarítmicos de la información hidrológica,  $Z = \text{Log} x$ , usualmente se utilizan logaritmos con base 10, se calculan la media  $X$ , la desviación estándar  $S_x$  y el coeficiente de asimetría  $C_s$  para los logaritmos de los datos.

La función de densidad para  $X$  y  $Z$  se da a continuación:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta_1)} \left( \frac{\text{Log} x - x_0}{\alpha} \right)^{\beta_1 - 1} * e^{-(\text{Log} x - x_0)/\alpha} \dots\dots (16)$$



Si se hace una transformación:  $Z = \text{Log}(x)$ . La función densidad reducida es:

$$f(z) = \frac{(z-z_0)^{\beta-1} * e^{-(z-z_0)/\alpha}}{\alpha^{\beta} \Gamma(\beta)} \dots\dots (17)$$

Dónde:

$Z$ = variable aleatoria con distribución Pearson Tipo III

$X$ = variable aleatoria con distribución Log-Pearson Tipo III

$Z_0$ = parámetro de posición

$\alpha$ = parámetro de escala

$\beta$ = parámetro de forma

En el caso de la distribución Log-Pearson Tipo III:  $X=10z$  la variable reducida es:

$$y = \frac{z-z_0}{\alpha} \dots\dots (18)$$

Por lo que la ecuación (17) queda de la siguiente manera:

$$f(y) = \frac{1}{\Gamma(\beta)} * y^{\beta-1} * e^{-y} \dots\dots (19)$$

#### b. FUNCIÓN ACUMULADA

La función de distribución acumulada de la distribución Log Pearson Tipo III es:

$$F(z) = \int_{z_0}^z \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left( \frac{z-z_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} * e^{-\frac{(z-z_0)}{\alpha}} dz \dots\dots (20)$$

Sustituyendo (19) en (20) se obtiene lo siguiente:

$$F(y) = \frac{1}{\Gamma(\beta)} \int_0^y y^{\beta-1} e^{-y} dy \dots\dots\dots (21)$$

La ecuación (21) es una distribución Ji cuadrada con  $2\beta$  grados de libertad y  $x^2=2y$

$$F(y) = F(X^2/v) = FX^2(2y/2\beta) \dots\dots(22)$$

Para esta distribución, el primer paso es tomar los logaritmos de la información hidrológica. Se calculan la media, la desviación estándar y el coeficiente de asimetría C, para los logaritmos de los datos. El factor de frecuencia  $K_T$  depende del periodo de retorno T y del coeficiente de asimetría C, cuando  $C=0$  el factor de frecuencia es igual a la variable normal z, cuando  $C \neq 0$ ,  $K_T$  se aproxima por Kite (1977) como:

$$K_T = z + (z^2 - 1) * k + \frac{1}{3} * (z^3 - 6 * z) * k^2 - (z^2 - 1) * k^3 + z * k^4 + \frac{1}{3} * k^5$$

Dónde:  $k=C/6$

**Cuadro N° 12** Precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno - Método distribución Log Pearson

T (años)	P	w	z	$K_T$	Log Pmax	Pmax (mm)
2	0.5000	1.1774	0.0000	-0.0977	1.51	32.32
5	0.2000	1.7941	0.8415	0.7986	1.58	37.72
10	0.1000	2.1460	1.2817	1.3265	1.62	41.31
25	0.0400	2.5373	1.7511	1.9365	1.66	45.88
50	0.0200	2.7971	2.0542	2.3572	1.69	49.33
100	0.0100	3.0349	2.3268	2.7539	1.72	52.81
200	0.0050	3.2552	2.5762	3.1327	1.75	56.37
500	0.0020	3.5255	2.8785	3.6122	1.79	61.22
1000	0.0010	3.7169	3.0905	3.9621	1.81	65.03

iv. Distribución Gumbel (Valor Extremo Tipo I)

Según Paulet, 1977, el método de Gumbel se utiliza para predecir magnitudes máximas de variables hidrológicas asumiendo que esos valores son independientes entre sí, también son usadas frecuentemente para el estudio de magnitud-duración-frecuencias de lluvias (Hershfiel, 1961).

a. FUNCIÓN ACUMULADA

La distribución acumulada de la distribución Gumbel, tiene la forma:

$$F(x) = e^{-e^{\alpha(x-\beta)}} \dots (23)$$

$$\text{Para: } -\infty < x < +\infty \quad 0 < \alpha < +\infty \quad -\infty < \beta < +\infty$$

Dónde:

El parámetro  $\alpha$  se le conoce como parámetro de escala

El parámetro  $\beta$  se le conoce como parámetro de posición

b. FUNCIÓN DENSIDAD

Derivando la función de distribución acumulada, ecuación (23), con respecto a  $x$ , se obtiene la función densidad de probabilidad, es decir:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

Con lo cual, la función densidad reducida Gumbel es:

$$f(y) = e^{(\pm y - e^{\pm y})} \dots \dots \dots (24)$$

El signo (+) se emplea para eventos minimos y el signo (-) para eventos máximos.

La función de distribución acumulada es:

$$F(y) = e^{-e^{-y}} \rightarrow (\text{máximo})$$

$$F(y) = 1 - e^{-e^y} \rightarrow (\text{mínimo})$$

$$F(y)_{\min} = 1 - F(-y)_{\max}$$

Los valores correspondientes de x e y, están relacionadas por

$$F(x) = F(y)$$

y la relación:

$$y = \alpha(x - \beta) \text{ ó } x = \beta + \frac{y}{\alpha} \dots\dots (25)$$

En el cuadro N° 13 y el cuadro N° 14 se muestran los resultados de los análisis utilizando distribución Gumbel Extrema Tipo I y Gumbel Extrema Tipo I Modificado respectivamente.

**Cuadro N° 13** Precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno - Método distribución Gumbel Extrema Tipo I

T (años)	$K_T$	$P_{\max}$ (mm)
2	-0.1478	32.4622
5	0.9186	38.8681
10	1.6247	43.1094
25	2.5169	48.4683
50	3.1787	52.4439
100	3.8357	56.3900
200	4.4902	60.3218
500	5.3538	65.5091
1000	6.0065	69.4295

**Cuadro Nº 14** Precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno - Método distribución Gumbel Modificado

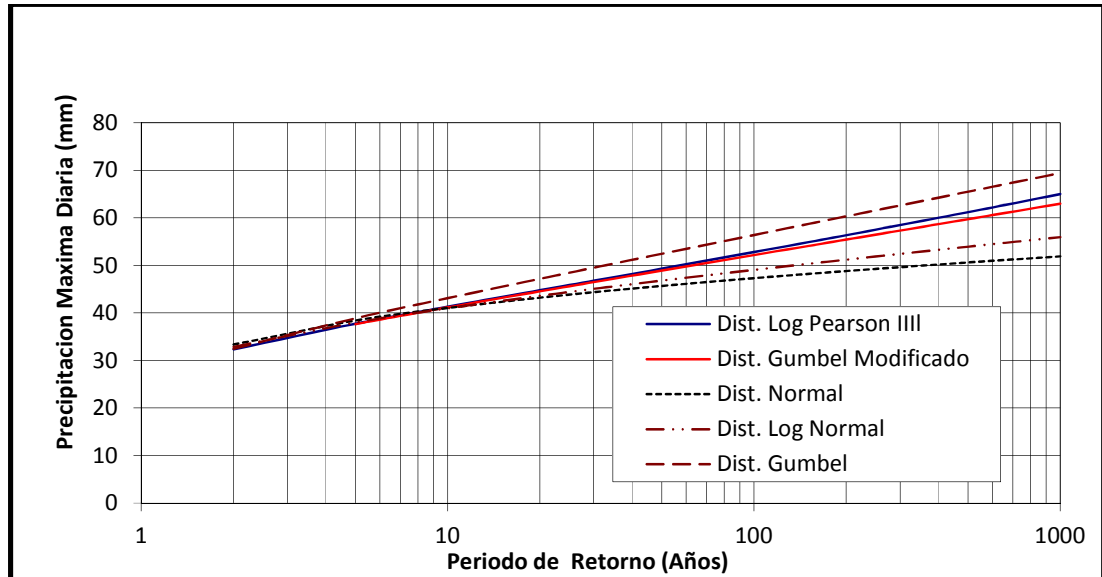
T (años)	$K_T$	Pmax (mm)
5	0.7195	37.6718
10	1.3046	41.1865
25	2.0439	45.6274
50	2.5924	48.9219
100	3.1368	52.1921
200	3.6792	55.4503
500	4.3949	59.7490
1000	4.9357	62.9978

El cuadro Nº 15 muestra los valores de las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno calculados por los diferentes métodos de distribución mencionados.

**Cuadro Nº 15** Precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno

Periodo de Retorno T	P	P max (mm)				
		Dis. Normal	Log. Normal	Log. Pearson	Gumbel	Gumbel Modificado
2	0.5000	33.35	32.87	32.32	32.46	
5	0.2000	38.40	38.00	37.72	38.87	37.67
10	0.1000	41.05	40.99	41.31	43.11	41.19
25	0.0400	43.87	44.44	45.88	48.47	45.63
50	0.0200	45.69	46.82	49.33	52.44	48.92
100	0.0100	47.33	49.07	52.81	56.39	52.19
200	0.0050	48.82	51.22	56.37	60.32	55.45
500	0.0020	50.64	53.96	61.22	65.51	59.75
1000	0.0010	51.91	55.96	65.03	69.43	63.00

**Figura N° 09** Precipitaciones máximas diarias en la cuenca del río Mosna  
en la zona de Conin



### 5.3.3. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE KOLMOGÓROV-SMIRNOV

Esta prueba permite determinar que distribución se ajusta mejor a nuestros datos para ello se elige la distribución que tenga menor error.

**Cuadro N° 16** Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov – Smirnov - Distribución Normal

N°	Pmax (mm) (x)	P(x)	Z	F(z)	$\Delta x$ $F(z)-P(x)$
1	24.94	0.05	-1.40	0.0808	0.0308
2	27.51	0.10	-0.97	0.1653	0.0653
3	28.08	0.15	-0.88	0.1900	0.0400
4	28.36	0.20	-0.83	0.2031	0.0031
5	28.50	0.25	-0.81	0.2099	0.0401
6	29.07	0.30	-0.71	0.2383	0.0617
7	29.93	0.35	-0.57	0.2845	0.0655
8	30.21	0.40	-0.52	0.3008	0.0992
9	30.64	0.45	-0.45	0.3261	0.1239
10	31.50	0.50	-0.31	0.3789	0.1211
11	32.07	0.55	-0.21	0.4155	0.1345
12	33.06	0.60	-0.05	0.4811	0.1189
13	34.78	0.65	0.24	0.5938	0.0562
14	37.20	0.70	0.64	0.7391	0.0391
15	37.91	0.75	0.76	0.7762	0.0262
16	39.05	0.80	0.95	0.8287	0.0287
17	39.19	0.85	0.97	0.8347	0.0153
18	45.18	0.90	1.97	0.9755	0.0755
19	46.46	0.95	2.18	0.9855	0.0355
Suma (mm)	633.65			$\Delta_{max} =$	0.1345
Media (mm)	33.35				
D.Est. (mm)	33.35				

**Cuadro N° 17** Prueba de bondad de ajuste de Smirnov Kolgomorov –  
Distribución Log Normal

N°	Pmax (mm) (X)	Ln Pmax (Y)	P(x)	Z	F(z)	$\Delta x$ $F(z)-P(x)$
1	24.94	3.2165	0.05	-1.604	0.0544	0.0044
2	27.51	3.3144	0.10	-1.035	0.1504	0.0504
3	28.08	3.3349	0.15	-0.916	0.1799	0.0299
4	28.36	3.3450	0.20	-0.857	0.1957	0.0043
5	28.50	3.3501	0.25	-0.828	0.2038	0.0462
6	29.07	3.3699	0.30	-0.713	0.2379	0.0621
7	29.93	3.3988	0.35	-0.545	0.2930	0.0570
8	30.21	3.4083	0.40	-0.490	0.3122	0.0878
9	30.64	3.4224	0.45	-0.408	0.3417	0.1083
10	31.50	3.4499	0.50	-0.248	0.4020	0.0980
11	32.07	3.4678	0.55	-0.144	0.4428	0.1072
12	33.06	3.4985	0.60	0.034	0.5136	0.0864
13	34.78	3.5489	0.65	0.327	0.6281	0.0219
14	37.20	3.6163	0.70	0.718	0.7637	0.0637
15	37.91	3.6352	0.75	0.828	0.7963	0.0463
16	39.05	3.6649	0.80	1.000	0.8415	0.0415
17	39.19	3.6685	0.85	1.022	0.8465	0.0035
18	45.18	3.8106	0.90	1.847	0.9676	0.0676
19	46.46	3.8386	0.95	2.010	0.9778	0.0278
Suma (mm)	633.65	66.36			$\Delta_{max} =$	0.1083
Media (mm)	33.35	3.49				
D.Est. (mm)	6.01	0.17				



**Cuadro N° 18** Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov Smirnov –  
Distribución Log Pearson III

N°	Pmax (mm) (X)	Log Pmax (Log X)	Kt	F(Kt) (*)	P(x)	$\Delta x$ F(Kt)-P(x)
1	24.94	1.3969	-1.6036	0.0681	0.05	0.0181
2	27.51	1.4394	-1.0349	0.1750	0.1	0.0750
3	28.08	1.4483	-0.9158	0.2250	0.15	0.0750
4	28.36	1.4527	-0.8571	0.2320	0.2	0.0320
5	28.50	1.4549	-0.8280	0.2350	0.25	0.0150
6	29.07	1.4635	-0.7130	0.2850	0.3	0.0150
7	29.93	1.4761	-0.5446	0.3120	0.35	0.0380
8	30.21	1.4802	-0.4896	0.3420	0.4	0.0580
9	30.64	1.4863	-0.4079	0.3580	0.45	0.0920
10	31.50	1.4983	-0.2481	0.4160	0.5	0.0840
11	32.07	1.5061	-0.1439	0.4520	0.55	0.0980
12	33.06	1.5194	0.0340	0.5210	0.6	0.0790
13	34.78	1.5413	0.3270	0.6130	0.65	0.0370
14	37.20	1.5705	0.7181	0.7250	0.7	0.0250
15	37.91	1.5788	0.8284	0.7570	0.75	0.0070
16	39.05	1.5916	1.0005	0.8010	0.8	0.0010
17	39.19	1.5932	1.0216	0.8250	0.85	0.0250
18	45.18	1.6549	1.8471	0.8810	0.9	0.0190
19	46.46	1.6671	2.0097	0.9320	0.95	0.0180
Suma (mm)	633.65	28.82			$\Delta_{\max} =$	0.098
Media (mm)	33.35	1.52				
D.Est. (mm)	6.01	0.075				
Coef. Asimetría (mm)		0.5921				

**Cuadro N° 19** Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov Smirnov –  
Distribución Gumbel Extrema Tipo I Original

N°	Pmax (mm) (X)	P(x)	z	F(z)	$\Delta x$ F(z)-P(x)
1	24.94	0.05	-1.01	0.065	0.0151
2	27.51	0.1	-0.54	0.180	0.0804
3	28.08	0.15	-0.43	0.214	0.0636
4	28.36	0.2	-0.38	0.231	0.0306
5	28.5	0.25	-0.36	0.239	0.0108
6	29.07	0.3	-0.25	0.275	0.0246
7	29.93	0.35	-0.10	0.332	0.0181
8	30.21	0.4	-0.05	0.351	0.0494
9	30.64	0.45	0.03	0.379	0.0707
10	31.5	0.5	0.19	0.436	0.0636
11	32.07	0.55	0.29	0.474	0.0765
12	33.06	0.6	0.47	0.536	0.0644
13	34.78	0.65	0.78	0.633	0.0167
14	37.2	0.7	1.22	0.745	0.0451
15	37.91	0.75	1.35	0.772	0.0222
16	39.05	0.8	1.56	0.810	0.0104
17	39.19	0.85	1.59	0.815	0.0353
18	45.18	0.9	2.67	0.933	0.0334
19	46.46	0.95	2.91	0.947	0.0032
Suma (mm)	633.64			$\Delta_{max} =$	0.0804
Media (mm)	33.35				
D.Est. (mm)	5.85				
$\alpha =$	5.50				
$\mu =$	30.47				

**Cuadro N° 20** Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov- Smirnov para la Distribución Gumbel Extrema Tipo I Modificado

N°	Pmax (mm) (X)	P(x)	y	G(y)	$\Delta x$ G(y)-P(x)
1	24.94	0.050	-1.22	0.0340	0.0160
2	27.51	0.100	-0.67	0.1418	0.0418
3	28.08	0.150	-0.55	0.1774	0.0274
4	28.36	0.200	-0.49	0.1961	0.0039
5	28.5	0.250	-0.46	0.2057	0.0443
6	29.07	0.300	-0.34	0.2466	0.0534
7	29.93	0.350	-0.15	0.3119	0.0381
8	30.21	0.400	-0.09	0.3337	0.0663
9	30.64	0.450	0.00	0.3674	0.0826
10	31.5	0.500	0.18	0.4346	0.0654
11	32.07	0.550	0.30	0.4781	0.0719
12	33.06	0.600	0.52	0.5503	0.0497
13	34.78	0.650	0.88	0.6612	0.0112
14	37.2	0.700	1.40	0.7813	0.0813
15	37.91	0.750	1.55	0.8089	0.0589
16	39.05	0.800	1.79	0.8468	0.0468
17	39.19	0.850	1.82	0.8510	0.0010
18	45.18	0.900	3.10	0.9561	0.0561
19	46.46	0.950	3.38	0.9664	0.0164
Suma (mm)	633.64			$\Delta_{max} =$	0.0826
Media (mm)	33.35				
D.Est. (mm)	6.01				
$\alpha$	4.68				
$\mu$	30.65				

Para N-1 muestral

Los resultados del error  $\Delta$  luego de aplicar las diferentes distribuciones se muestran en el cuadro N° 21.

**Cuadro Nº 21** Resultados de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov

Dist. Normal	Dist Log Normal	Dist Log Pearson III	Dist Gumbel Original	Dist. Gumbel Modificado
0.1345	0.1083	0.0980	0.0804	0.0826

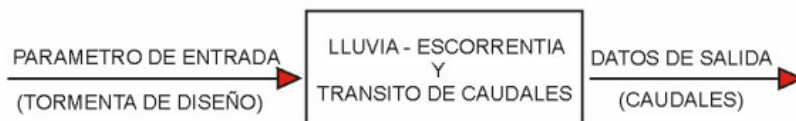
De los resultados del cuadro Nº 21 se aprecia que la distribución de Gumbel Original es la que mejor se ajusta a los registros del río Mosna, por lo que se usara los resultados de dicha distribución.

Por lo que, de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno obtenidos en el cuadro Nº 15, se utilizaran las que corresponden a la distribución de Gumbel Original.

a. ANÁLISIS DE TORMENTA DE DISEÑO

La tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para ser utilizado en el estudio de la respuesta hidrológica de una cuenca.

Por lo general una tormenta de diseño es la entrada a un sistema de cálculo, los caudales resultantes que caracterizan a una cuenca se calculan mediante procedimiento de lluvia escorrentía y la circulación de estos caudales por los cauces de la cuenca de drenaje.



Para la estimación de la tormenta de diseño, se recurrió al principio conceptual, referente a que los valores extremos de lluvias de alta intensidad y corta duración aparecen, en el mayor de los casos, marginalmente dependientes de la localización geográfica, con base en el hecho de que estos eventos de lluvia están asociados con celdas

atmosféricas las cuales tienen propiedades físicas similares en la mayor parte del mundo.

Para efectos del conocimiento de las tormentas de diseño del proyecto, se ha calculado la precipitación máxima para 1, 2, 3, 6, 12 horas en función a la precipitación máxima de 24 horas para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, aplicando el modelo de Dick y Peschke (Guevara, 1991), mediante la expresión siguiente:

$$P_d = P_{24h} \left( \frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Dónde:

$P_d$  : Precipitación total (mm)  
 $P_{24h}$  : Precipitación máxima en 24 horas (mm)  
 $d$  : Duración en minutos

Los resultados de la aplicación del modelo se muestran en el cuadro N° 22.

**Cuadro N° 22** Tormentas de diseño para diferentes periodos de duración y periodos de retorno en función de la precipitación máxima diaria

T (Años)	P <sub>Máx</sub> diaria (mm)	Duración en minutos (d)					
		60	120	180	360	720	1440
100	56.39	25.48	30.30	33.53	39.87	47.42	56.3
50	52.44	23.69	28.18	31.18	37.08	44.10	52.4
25	48.47	21.90	26.04	28.82	34.27	40.76	48.4
10	43.11	19.48	23.16	25.63	30.48	36.25	43.1
5	38.87	17.56	20.88	23.11	27.48	32.68	38.8

#### 5.3.4. CALCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración representa el tiempo que demora una partícula de agua para trasladarse del punto más remoto de la cuenca hasta el punto de desagüe. Cuando haya transcurrido este tiempo toda la cuenca estará contribuyendo a formar el caudal de la escorrentía que tendrá en consecuencia un valor máximo.

Existen varias formas de hallar el tiempo de concentración,  $t_c$ , de una cuenca; una de ellas es usando las fórmulas empíricas que a continuación se desarrollan y cuyos resultados se muestran en el cuadro N° 23.

1) Formula de KIRPICH:

$$t_c = 0.01947 L^{0.77} J^{-0.385}$$

Dónde:

$t_c$  = Tiempo de Concentración en minutos.

$L$  = Longitud del Cauce en m.

$J$  = Pendiente del Cauce Principal en m/m

2) Fórmula de Californiana (del U.S.B.R.)

$$t_c = 0.066 (L/J^{1/2})^{0.77}$$

Dónde:

$t_c$  = Tiempo de Concentración en horas.

$L$  = Longitud del Cauce en Km.

$J$  = Pendiente del Cauce Principal en m/m.

3) Formula de Guiandotti

$$t_c = (4A^{0.5} + 1.5L)/(25.3(JL)^{0.5})$$

Dónde:

$t_c$  = Tiempo de Concentración en horas.

$A$  = Área de la Cuenca en  $\text{km}^2$ .

$L$  = Longitud del Cauce en a Km.

$J$  = Pendiente del Cauce Principal

4) Formula de Ventura – Heras

$$t_c = \alpha A^{0.5}/J, \quad 0.04 < \alpha < 0.13$$

Dónde:

$t_c$  = Tiempo de Concentración en horas.

$A$  = Área de la Cuenca en  $\text{km}^2$ .

$J$  = Pendiente del Cauce Principal.

5) Fórmula de Passini.

$$t_c = \beta (AL)^{1/3}/J^{0.5}, \quad 0.04 < \beta < 0.13$$

Dónde:

$t_c$  = Tiempo de Concentración en horas.

$A$  = Área de la Cuenca en  $\text{Km}^2$ .

$L$  = Longitud del Cauce en Km.

$J$  = Pendiente del Cauce Principal.

6) Fórmula de Témez.

$$t_c = 0.3(L/J^{1/4})^{0.76}$$

Dónde:

$t_c$  = Tiempo de Concentración en horas.

$L$  = Longitud del Cauce en Km.

$J$  = Pendiente del Cauce Principal

7) Fórmula de California Culvert Practice.

$$t_c = 0.0195 * \left[ \frac{L^3}{H} \right]^{0.385}$$

Dónde:

$t_c$  = Tiempo de Concentración en minutos.

$L$  = Longitud del Cauce en metros.

$H$  = Diferencia de Niveles.

**Cuadro N° 23** Tiempos de concentración en la cuenca del río Mosna

Kirpich (min)	U.S.B.R. (min)	Guiandotti (min)	Ventura Heras (min)	Passini (min)	Temez (min)	California Culvert Practice
97.18	96.81	180.15	499.49	132.35	248.09	97.33

Para nuestro caso se ha hecho uso de los resultados de la fórmula de Kirpich por ser más confiable los resultados que arroja este método.



#### 5.4. SIMULACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS USANDO EL MODELO HIDROLÓGICO HEC HMS 3.5

Como no se cuenta con datos de caudales, la descarga máxima instantánea para el Periodo de Retorno de 25 años, ha sido estimada mediante Simulación de Caudales Máximos con Aplicación del Modelo Hidrológico HEC HMS 3.5.

El HEC HMS es un programa complejo que calcula el hidrograma producido por una cuenca si le facilitamos datos físicos de esta, en este caso ingresaremos datos de las tormentas de diseño para diferentes periodos de duración y periodos de retorno, en función de la precipitación máxima diaria y las características principales de cuenca de acuerdo a como se muestran en el cuadro N° 24.

##### 5.4.1. COMPONENTES DEL PROYECTO

###### a. Modelo de la cuenca

En el cuadro N° 24 se muestran las características de la cuenca del río Mosna, que se han empleado en el modelamiento de la cuenca.

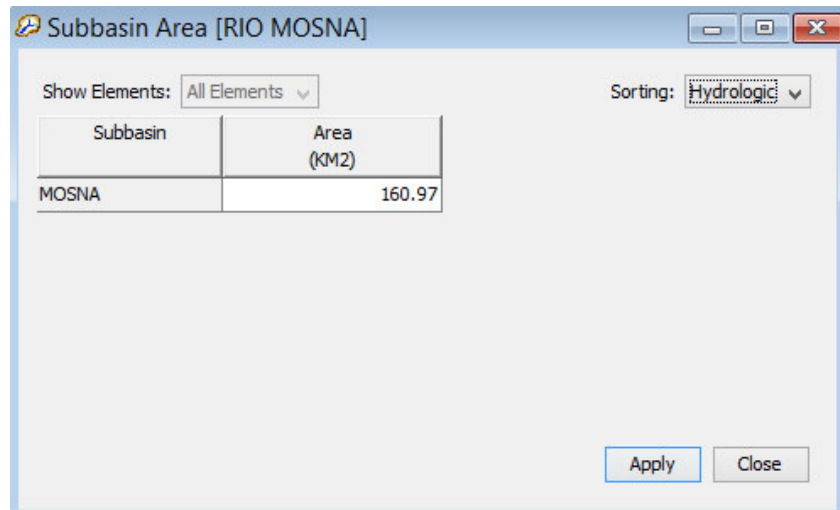
**Cuadro Nº 24** Características principales de la cuenca del río Mosna

Área A (Km <sup>2</sup> )	Desnivel H (m)	Longitud del cauce L (Km)	Pendiente del Cauce S <sub>0</sub> (m/m)	Tiempo de Concentración t <sub>c</sub> (minutos)	Tiempo de retraso t <sub>r</sub> (minutos)	Tiempo de pico t <sub>p</sub> (minutos)	Tiempo base t <sub>b</sub> (minutos)	Caudal Unitario q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s/mm)	Número de Curva N	Inicial Abstrac ción P <sub>0</sub>
160.97	956	15,682	0.06096	97.18	58.31	106.90	285.43	0.31	77.00	15.17

Para este caso se usara las tormentas de diseño para periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, además los datos del cuadro N° 24.

Se ingresan los datos de la cuenca

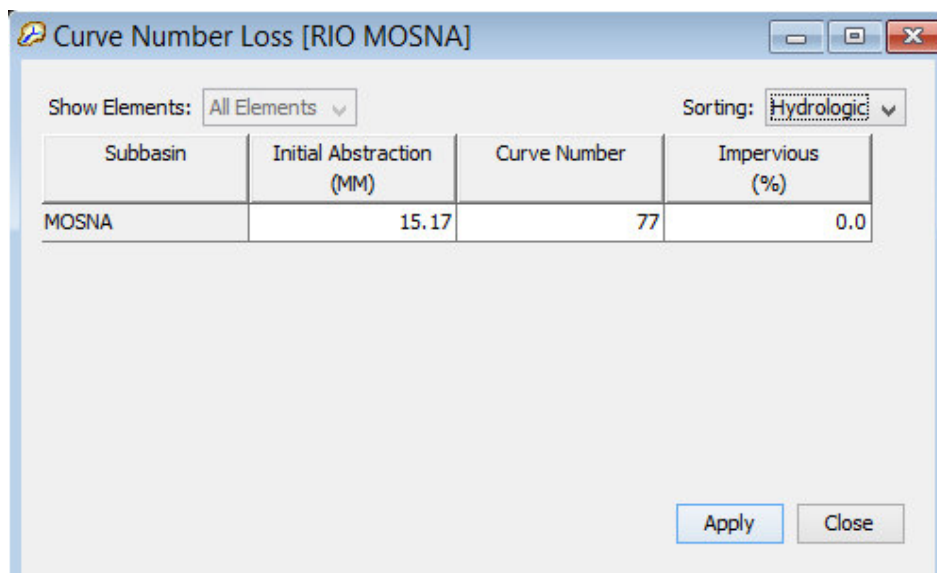
**Figura N° 10** Área de la cuenca del río Mosna



Subbasin	Area (KM2)
MOSNA	160.97

En el presente estudio para separar la precipitación neta (Loss Method), se usa el Modelo del Número de Curva del SCS (SCS Curve Number) y para transformar la precipitación neta a escorrentía directa (Transform Method), se usa el modelo del Hidrograma Unitario Sintético del SCS (SCS Unit Hydrograph). En los Cuadros N° 11 y 12 se muestran los parámetros de ingreso del modelo meteorológico y en los Cuadros N° 13, 14, 15, 16 y 17 se muestran las tormentas de diseño, para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años respectivamente.

**Figura N° 11** Umbral de escorrentía y número de curva



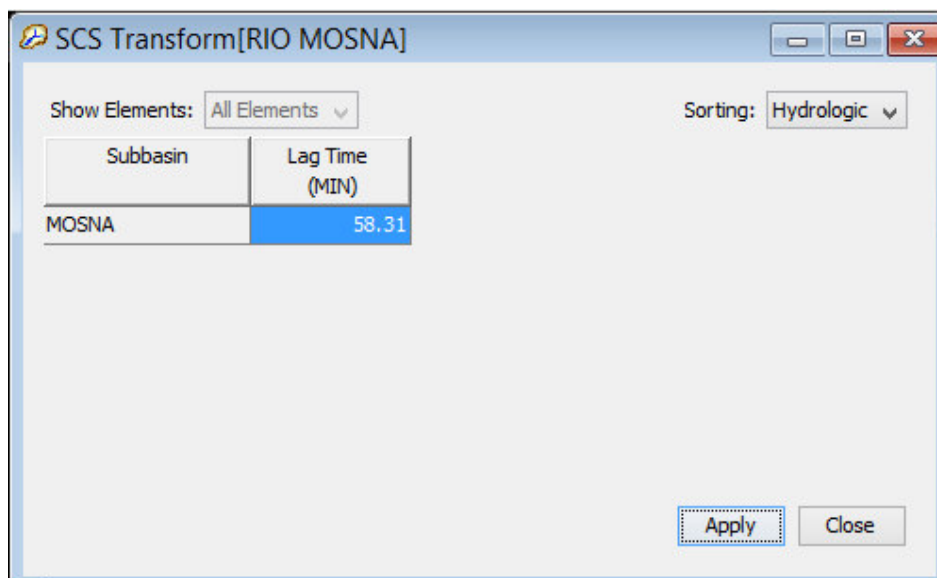
Curve Number Loss [RIO MOSNA]

Show Elements: All Elements      Sorting: Hydrologic

Subbasin	Initial Abstraction (MM)	Curve Number	Impervious (%)
MOSNA	15.17	77	0.0

Apply      Close

**Figura N° 12** Periodo de retardo



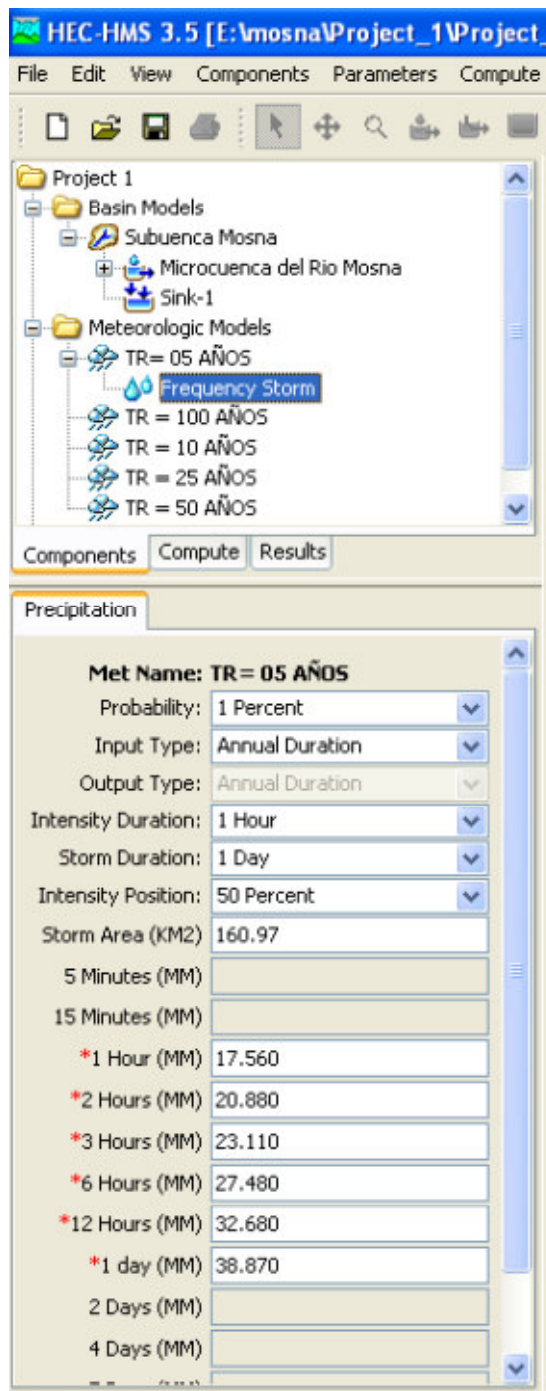
SCS Transform[RIO MOSNA]

Show Elements: All Elements      Sorting: Hydrologic

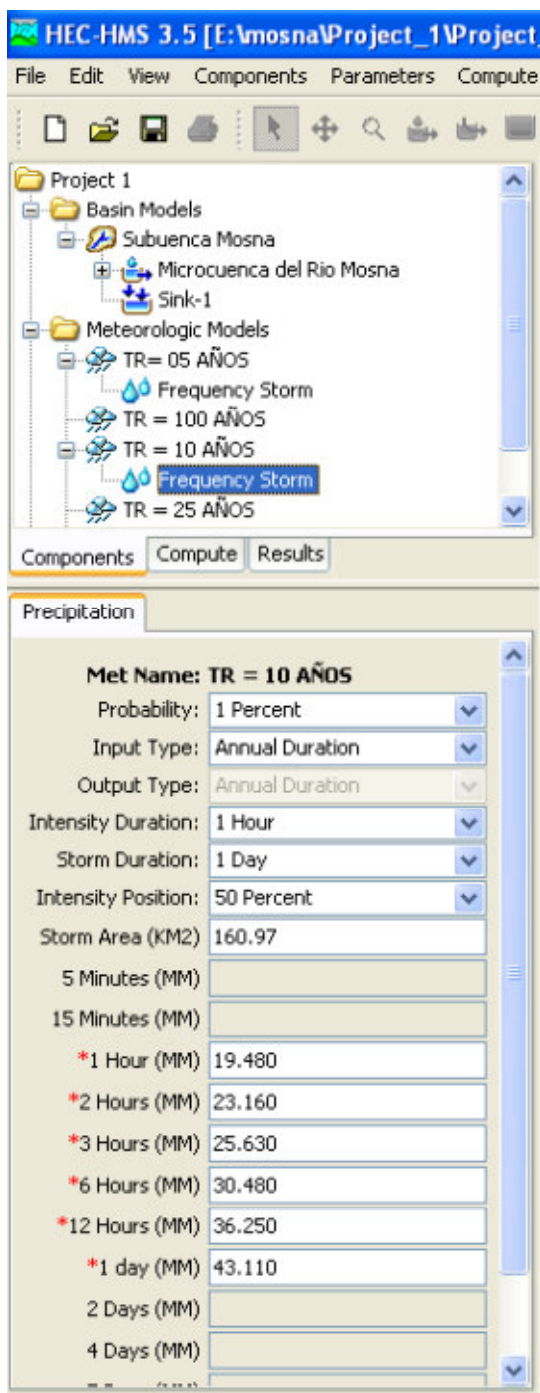
Subbasin	Lag Time (MIN)
MOSNA	58.31

Apply      Close

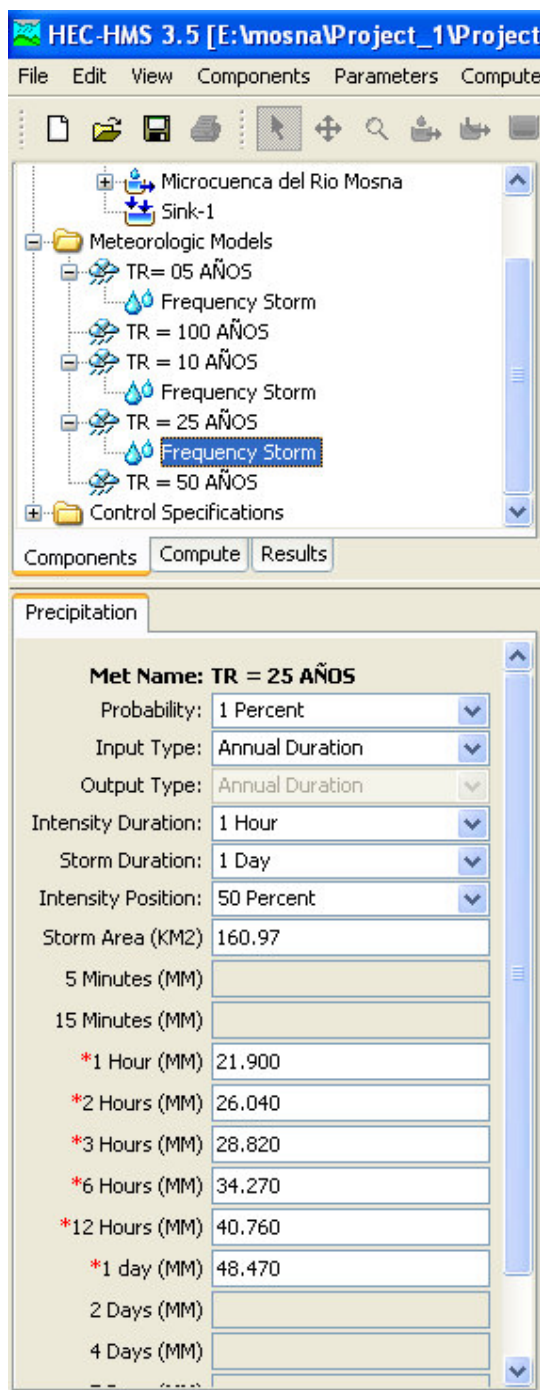
**Figura N° 13** Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 5 años



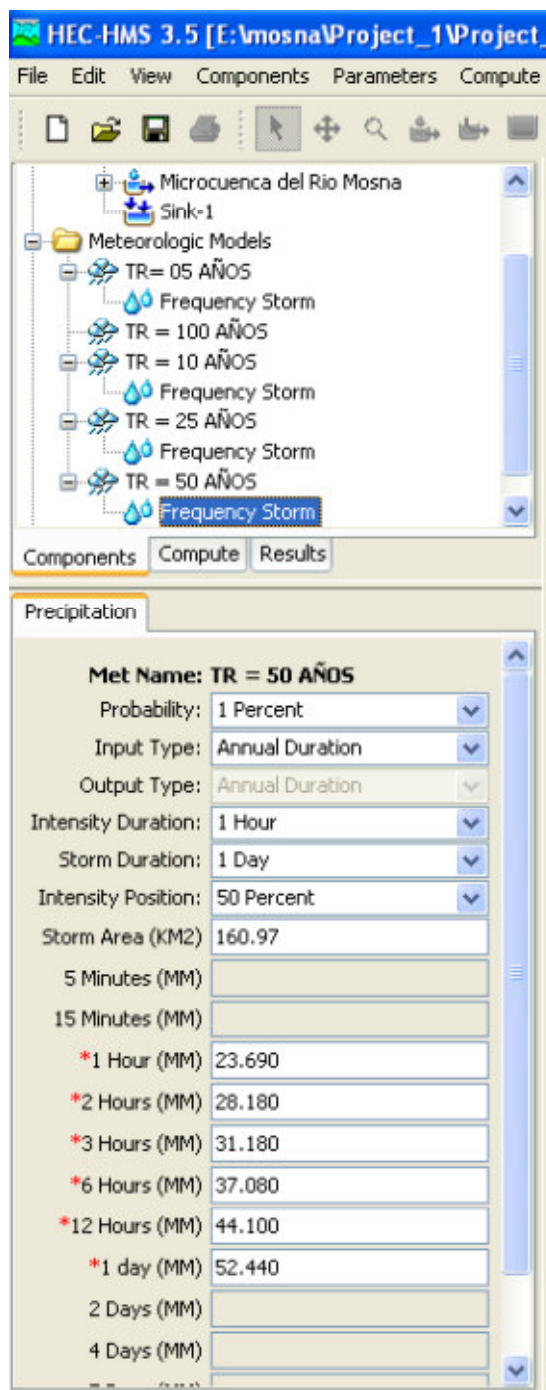
**Figura N° 14** Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 10 años



**Figura Nº 15** Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 25 años

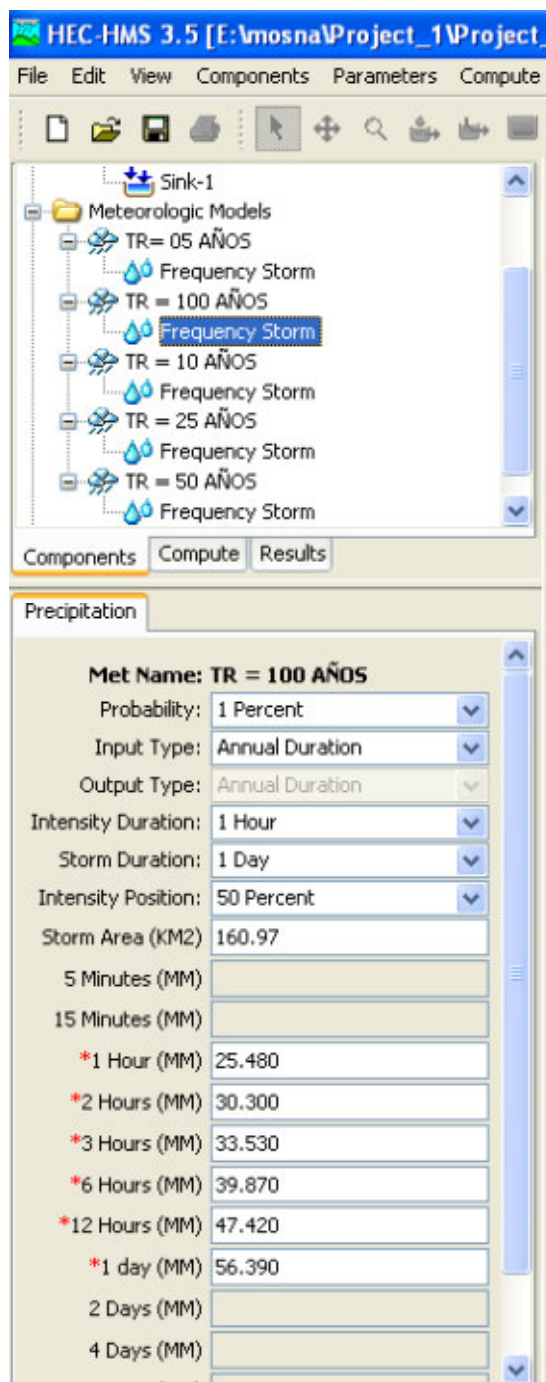


**Figura N° 16** Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 50 años





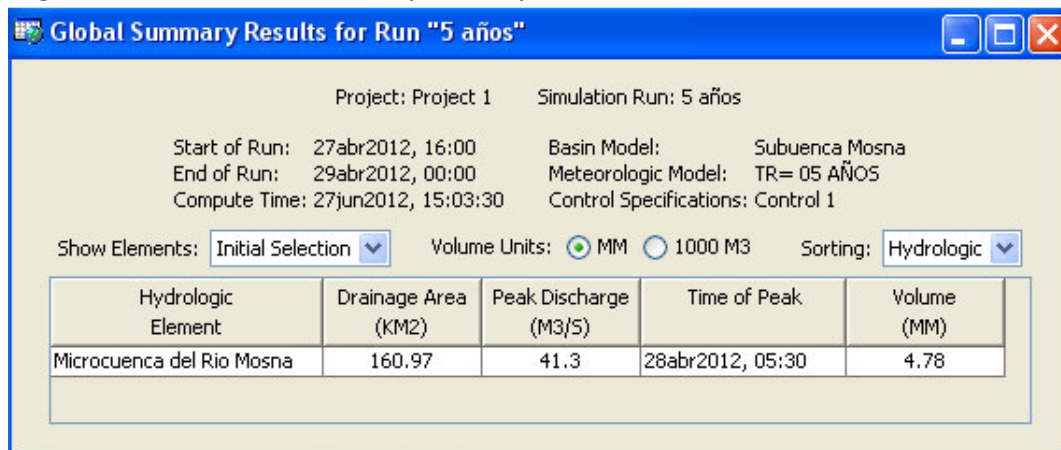
**Figura N° 17** Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 100 años



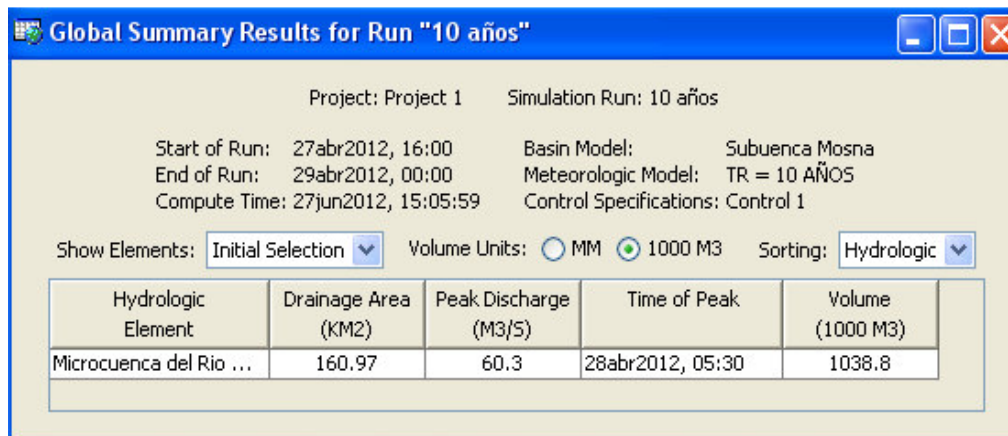
b. Resultados obtenidos

Los resultados de los caudales de máxima avenida para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, se presentan en las Figuras Nº 18 a 22.

**Figura Nº 18** Caudal máximo para un periodo de retorno de 5 años



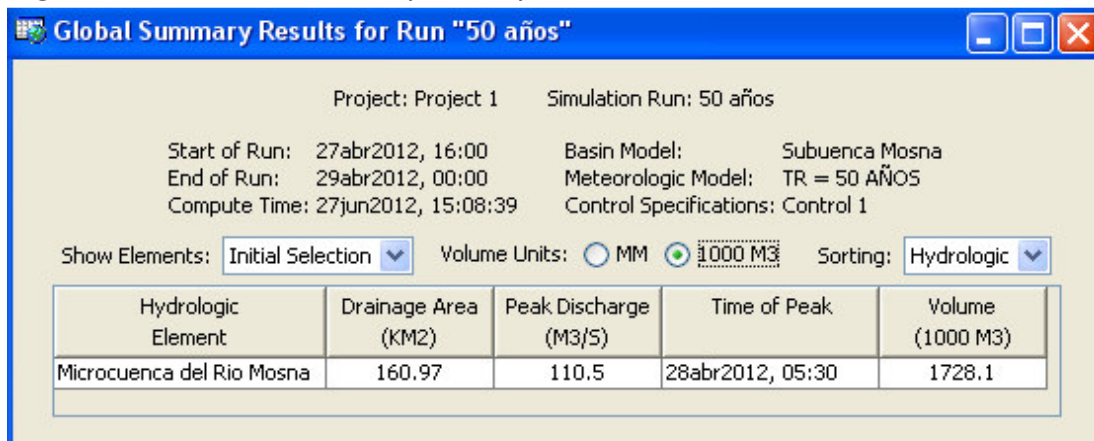
**Figura Nº 19** Caudal máximo para un periodo de retorno de 10 años



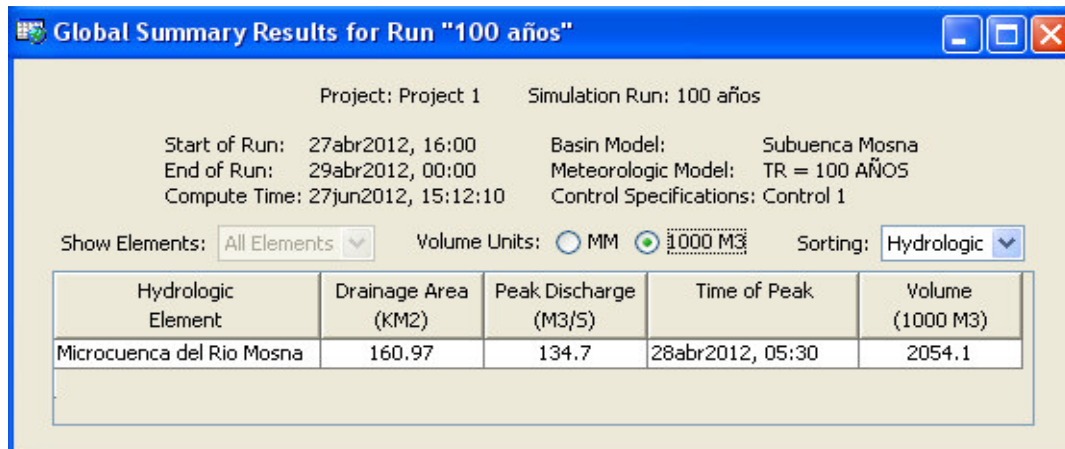
**Figura Nº 20** Caudal máximo para un periodo de retorno de 25 años



**Figura Nº 21** Caudal máximo para un periodo de retorno de 50 años



**Figura N° 22** Caudal máximo para un periodo de retorno de 100 años

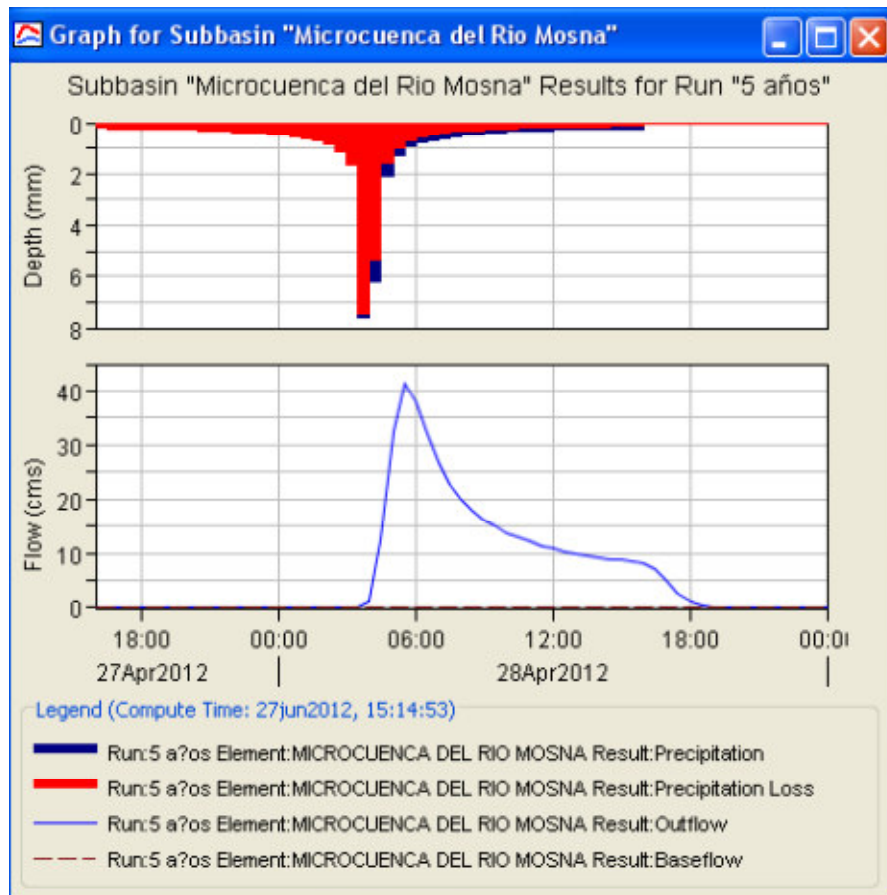


La simulación de la tormenta de diseño así como los hidrogramas de avenida del rio Mosna, para los Períodos de Retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 Años, se muestran en las figuras N° 23, 24, 25, 26 y 27y en las figuras N° 28, 29, 30, 31 y 32, respectivamente

**Figura N° 23** Simulación de la tormenta para un periodo de retorno de 5 años

Time-Series Results for Subbasin "Microcuenca del Rio Mosna"							
Project: Project 1							
Simulation Run: 5 años Subbasin: Microcuenca del Rio Mosna							
Start of Run: 27abr2012, 16:00				Basin Model: Subuenca Mosna			
End of Run: 29abr2012, 00:00				Meteorologic Model: TR= 05 AÑOS			
Compute Time: 27jun2012, 15:14:53				Control Specifications: Control 1			
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direc... (M3/S)	Base... (M3/S)	Total... (M3/S)
28abr2012	02:30	0.86	0.86	0.00	0.0	0.0	0.0
28abr2012	03:00	1.14	1.14	0.00	0.0	0.0	0.0
28abr2012	03:30	1.66	1.66	0.00	0.0	0.0	0.0
28abr2012	04:00	7.61	7.46	0.15	1.3	0.0	1.3
28abr2012	04:30	6.22	5.28	0.94	12.2	0.0	12.2
28abr2012	05:00	2.08	1.60	0.48	32.4	0.0	32.4
28abr2012	05:30	1.31	0.97	0.34	41.3	0.0	41.3
28abr2012	06:00	0.95	0.68	0.26	38.0	0.0	38.0
28abr2012	06:30	0.78	0.55	0.23	31.8	0.0	31.8
28abr2012	07:00	0.68	0.47	0.21	26.7	0.0	26.7
28abr2012	07:30	0.59	0.40	0.18	22.8	0.0	22.8
28abr2012	08:00	0.53	0.36	0.17	20.0	0.0	20.0
28abr2012	08:30	0.48	0.32	0.16	17.8	0.0	17.8
28abr2012	09:00	0.45	0.30	0.15	16.2	0.0	16.2
28abr2012	09:30	0.41	0.27	0.14	14.9	0.0	14.9
28abr2012	10:00	0.39	0.25	0.14	13.8	0.0	13.8
28abr2012	10:30	0.35	0.23	0.12	13.0	0.0	13.0
28abr2012	11:00	0.33	0.21	0.12	12.1	0.0	12.1
28abr2012	11:30	0.31	0.20	0.11	11.4	0.0	11.4
28abr2012	12:00	0.30	0.19	0.11	10.8	0.0	10.8
28abr2012	12:30	0.29	0.18	0.11	10.3	0.0	10.3
28abr2012	13:00	0.27	0.17	0.10	9.9	0.0	9.9
28abr2012	13:30	0.26	0.16	0.10	9.6	0.0	9.6

**Figura N° 24** Hidrograma de avenida para un periodo de retorno de 5 años

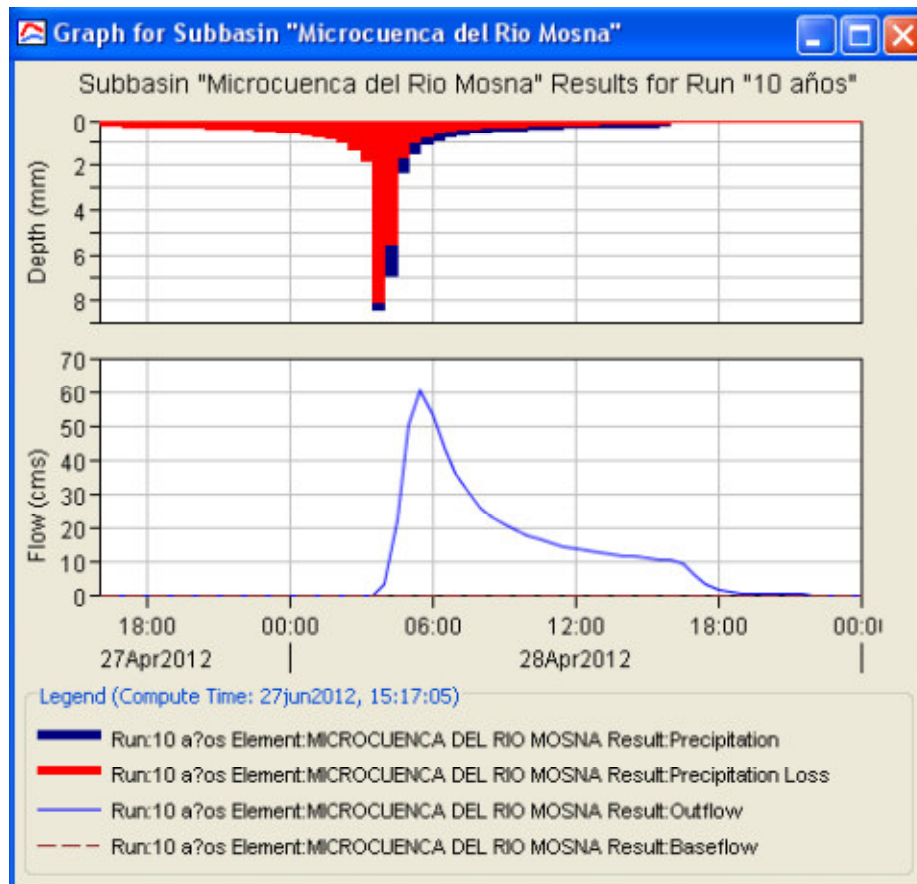




**Figura N° 25** Simulación de la tormenta para un periodo de retorno de 10 años

Time-Series Results for Subbasin "Microcuenca del Rio Mosna"							
Project: Project 1							
Simulation Run: 10 años Subbasin: Microcuenca del Rio Mosna							
Start of Run: 27abr2012, 16:00				Basin Model: Subuenca Mosna			
End of Run: 29abr2012, 00:00				Meteorologic Model: TR = 10 AÑOS			
Compute Time: 27jun2012, 15:17:05				Control Specifications: Control 1			
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direc... (M3/S)	Base... (M3/S)	Total... (M3/S)
28abr2012	03:30	1.84	1.84	0.00	0.0	0.0	0.0
28abr2012	04:00	8.44	8.08	0.36	3.3	0.0	3.3
28abr2012	04:30	6.91	5.54	1.36	21.7	0.0	21.7
28abr2012	05:00	2.30	1.66	0.64	50.4	0.0	50.4
28abr2012	05:30	1.45	1.00	0.45	60.3	0.0	60.3
28abr2012	06:00	1.05	0.71	0.34	53.3	0.0	53.3
28abr2012	06:30	0.87	0.57	0.30	43.4	0.0	43.4
28abr2012	07:00	0.75	0.49	0.26	35.7	0.0	35.7
28abr2012	07:30	0.65	0.42	0.24	30.1	0.0	30.1
28abr2012	08:00	0.59	0.37	0.22	26.0	0.0	26.0
28abr2012	08:30	0.54	0.33	0.20	23.0	0.0	23.0
28abr2012	09:00	0.49	0.30	0.19	20.7	0.0	20.7
28abr2012	09:30	0.46	0.28	0.18	19.0	0.0	19.0
28abr2012	10:00	0.43	0.26	0.17	17.6	0.0	17.6
28abr2012	10:30	0.39	0.23	0.16	16.4	0.0	16.4
28abr2012	11:00	0.37	0.22	0.15	15.3	0.0	15.3
28abr2012	11:30	0.35	0.21	0.14	14.4	0.0	14.4
28abr2012	12:00	0.33	0.19	0.14	13.6	0.0	13.6
28abr2012	12:30	0.32	0.18	0.13	13.0	0.0	13.0
28abr2012	13:00	0.30	0.18	0.13	12.4	0.0	12.4
28abr2012	13:30	0.29	0.17	0.12	12.0	0.0	12.0
28abr2012	14:00	0.28	0.16	0.12	11.5	0.0	11.5
28abr2012	14:30	0.27	0.15	0.12	11.2	0.0	11.2

**Figura N° 26** Hidrograma de avenida para un periodo de retorno de 10 años

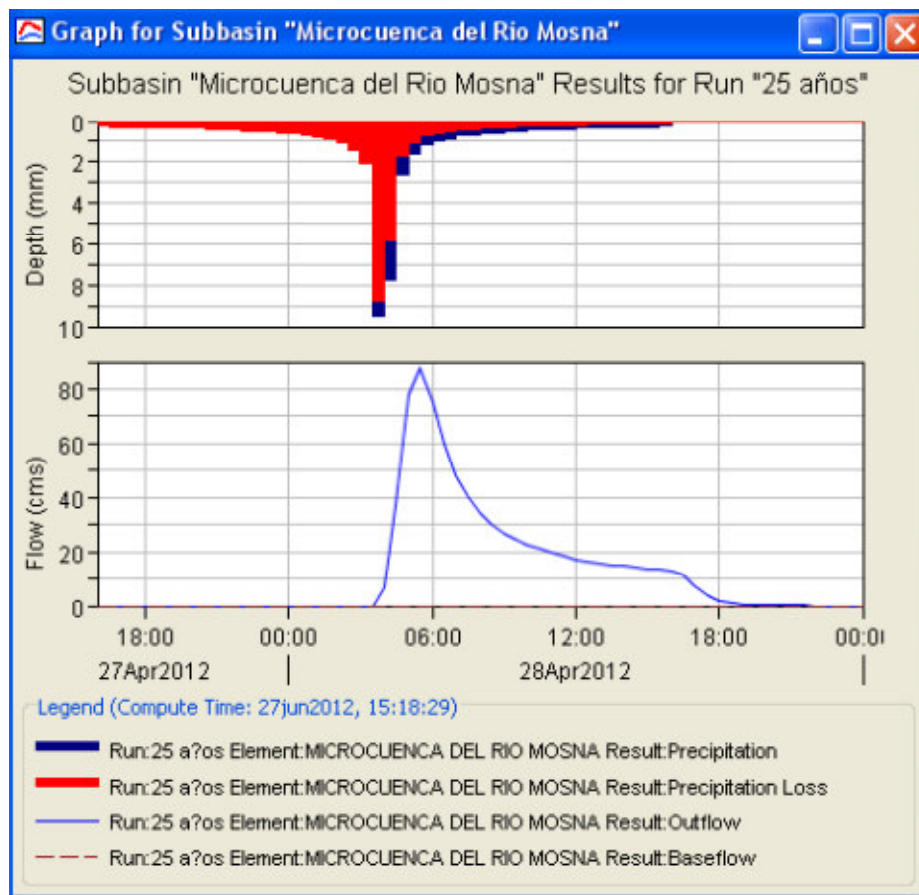




**Figura N° 27** Simulación de la tormenta para un periodo de retorno de 25 años

Time-Series Results for Subbasin "Microcuenca del Río Mosna"							
Project: Project 1							
Simulation Run: 25 años Subbasin: Microcuenca del Río Mosna							
Start of Run: 27abr2012, 16:00				Basin Model: Subuenca Mosna			
End of Run: 29abr2012, 00:00				Meteorologic Model: TR = 25 AÑOS			
Compute Time: 27jun2012, 15:18:29				Control Specifications: Control 1			
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direc... (M3/S)	Base... (M3/S)	Total... (M3/S)
28abr2012	03:00	1.42	1.42	0.00	0.0	0.0	0.0
28abr2012	03:30	2.07	2.07	0.00	0.0	0.0	0.0
28abr2012	04:00	9.49	8.73	0.76	6.9	0.0	6.9
28abr2012	04:30	7.76	5.81	1.95	37.3	0.0	37.3
28abr2012	05:00	2.59	1.73	0.86	77.6	0.0	77.6
28abr2012	05:30	1.63	1.04	0.59	87.8	0.0	87.8
28abr2012	06:00	1.18	0.73	0.45	74.9	0.0	74.9
28abr2012	06:30	0.98	0.59	0.39	59.6	0.0	59.6
28abr2012	07:00	0.84	0.50	0.34	48.0	0.0	48.0
28abr2012	07:30	0.73	0.43	0.30	39.9	0.0	39.9
28abr2012	08:00	0.66	0.38	0.28	34.1	0.0	34.1
28abr2012	08:30	0.60	0.34	0.26	29.9	0.0	29.9
28abr2012	09:00	0.56	0.31	0.24	26.8	0.0	26.8
28abr2012	09:30	0.52	0.29	0.23	24.5	0.0	24.5
28abr2012	10:00	0.48	0.27	0.22	22.6	0.0	22.6
28abr2012	10:30	0.44	0.24	0.20	21.0	0.0	21.0
28abr2012	11:00	0.41	0.22	0.19	19.5	0.0	19.5
28abr2012	11:30	0.39	0.21	0.18	18.3	0.0	18.3
28abr2012	12:00	0.37	0.20	0.17	17.3	0.0	17.3
28abr2012	12:30	0.36	0.19	0.17	16.5	0.0	16.5
28abr2012	13:00	0.34	0.18	0.16	15.8	0.0	15.8
28abr2012	13:30	0.33	0.17	0.16	15.1	0.0	15.1
28abr2012	14:00	0.31	0.16	0.15	14.6	0.0	14.6

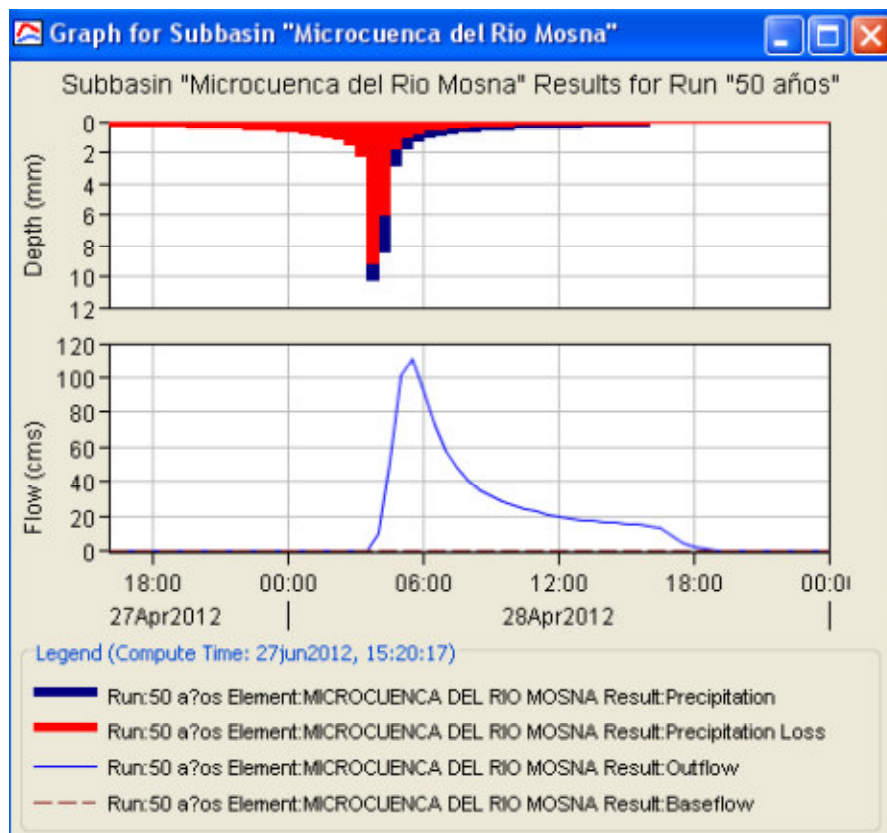
**Figura N° 28** Hidrograma de avenida para un periodo de retorno de 25 años



**Figura Nº 29** Simulación de la tormenta para un periodo de retorno de 50 años

Time-Series Results for Subbasin "Microcuenca del Rio Mosna"							
Project: Project 1							
Simulation Run: 50 años Subbasin: Microcuenca del Rio Mosna							
Start of Run: 27abr2012, 16:00				Basin Model: Subuenca Mosna			
End of Run: 29abr2012, 00:00				Meteorologic Model: TR = 50 AÑOS			
Compute Time: 27jun2012, 15:20:17				Control Specifications: Control 1			
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direc... (M3/S)	Base... (M3/S)	Total... (M3/S)
28abr2012	04:00	10.26	9.12	1.14	10.3	0.0	10.3
28abr2012	04:30	8.40	5.98	2.41	51.4	0.0	51.4
28abr2012	05:00	2.81	1.77	1.04	100.8	0.0	100.8
28abr2012	05:30	1.76	1.06	0.70	110.5	0.0	110.5
28abr2012	06:00	1.28	0.74	0.53	92.3	0.0	92.3
28abr2012	06:30	1.06	0.60	0.46	72.5	0.0	72.5
28abr2012	07:00	0.91	0.51	0.40	57.8	0.0	57.8
28abr2012	07:30	0.79	0.44	0.36	47.6	0.0	47.6
28abr2012	08:00	0.71	0.39	0.33	40.4	0.0	40.4
28abr2012	08:30	0.65	0.35	0.30	35.3	0.0	35.3
28abr2012	09:00	0.60	0.32	0.28	31.6	0.0	31.6
28abr2012	09:30	0.56	0.29	0.27	28.7	0.0	28.7
28abr2012	10:00	0.52	0.27	0.25	26.4	0.0	26.4
28abr2012	10:30	0.47	0.24	0.23	24.5	0.0	24.5
28abr2012	11:00	0.45	0.23	0.22	22.8	0.0	22.8
28abr2012	11:30	0.42	0.21	0.21	21.3	0.0	21.3
28abr2012	12:00	0.40	0.20	0.20	20.1	0.0	20.1
28abr2012	12:30	0.38	0.19	0.19	19.2	0.0	19.2
28abr2012	13:00	0.37	0.18	0.19	18.3	0.0	18.3
28abr2012	13:30	0.35	0.17	0.18	17.6	0.0	17.6
28abr2012	14:00	0.34	0.17	0.18	16.9	0.0	16.9
28abr2012	14:30	0.33	0.16	0.17	16.3	0.0	16.3
28abr2012	15:00	0.32	0.15	0.16	15.8	0.0	15.8

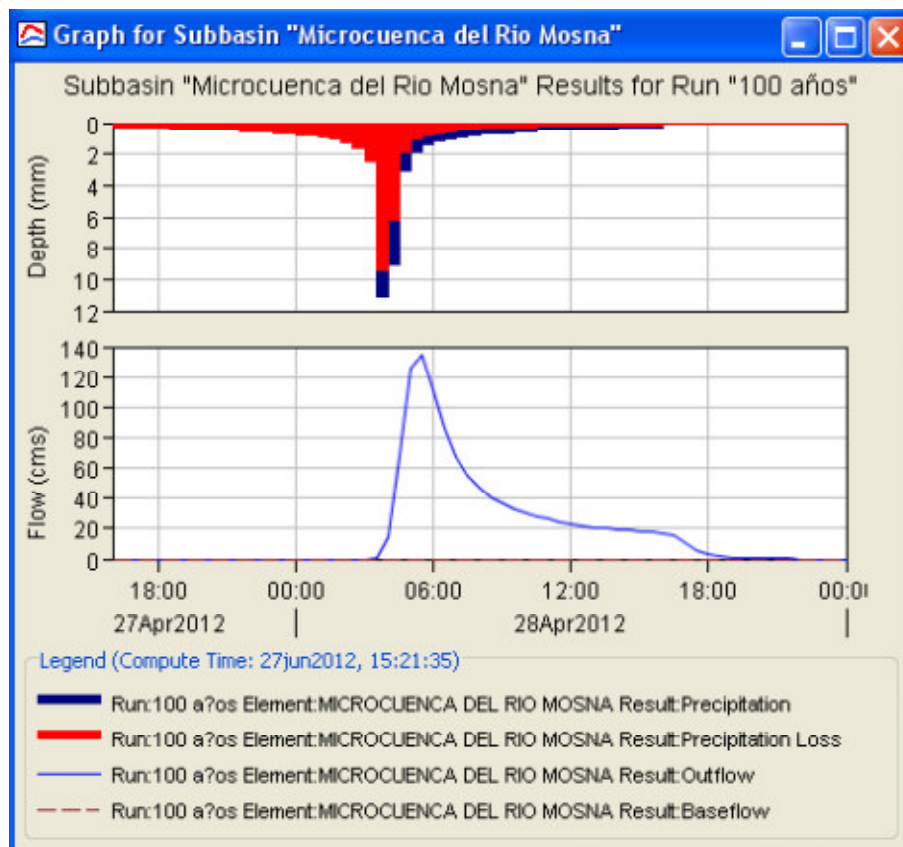
**Figura N° 30** Hidrograma de avenida para un periodo de retorno de 50 años



**Figura N° 31** Simulación de la tormenta para un periodo de retorno de 100 años

Time-Series Results for Subbasin "Microcuenca del Rio Mosna"							
Project: Project 1							
Simulation Run: 100 años Subbasin: Microcuenca del Rio Mosna							
Start of Run: 27abr2012, 16:00				Basin Model: Subcuenca Mosna			
End of Run: 29abr2012, 00:00				Meteorologic Model: TR = 100 AÑOS			
Compute Time: 27jun2012, 15:21:35				Control Specifications: Control 1			
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direc... (M3/S)	Base... (M3/S)	Total... (M3/S)
28abr2012	03:30	2.41	2.40	0.01	0.1	0.0	0.1
28abr2012	04:00	11.04	9.46	1.58	14.4	0.0	14.4
28abr2012	04:30	9.03	6.13	2.90	67.2	0.0	67.2
28abr2012	05:00	3.02	1.80	1.22	126.0	0.0	126.0
28abr2012	05:30	1.90	1.08	0.82	134.7	0.0	134.7
28abr2012	06:00	1.37	0.76	0.62	110.8	0.0	110.8
28abr2012	06:30	1.14	0.61	0.53	86.0	0.0	86.0
28abr2012	07:00	0.98	0.52	0.46	68.0	0.0	68.0
28abr2012	07:30	0.85	0.44	0.41	55.6	0.0	55.6
28abr2012	08:00	0.77	0.39	0.38	47.0	0.0	47.0
28abr2012	08:30	0.70	0.35	0.35	40.9	0.0	40.9
28abr2012	09:00	0.65	0.32	0.33	36.4	0.0	36.4
28abr2012	09:30	0.60	0.30	0.31	33.0	0.0	33.0
28abr2012	10:00	0.56	0.27	0.29	30.3	0.0	30.3
28abr2012	10:30	0.51	0.24	0.26	28.1	0.0	28.1
28abr2012	11:00	0.48	0.23	0.25	26.1	0.0	26.1
28abr2012	11:30	0.45	0.21	0.24	24.4	0.0	24.4
28abr2012	12:00	0.43	0.20	0.23	23.0	0.0	23.0
28abr2012	12:30	0.41	0.19	0.22	21.9	0.0	21.9
28abr2012	13:00	0.40	0.18	0.21	20.9	0.0	20.9
28abr2012	13:30	0.38	0.17	0.21	20.1	0.0	20.1
28abr2012	14:00	0.37	0.17	0.20	19.3	0.0	19.3
28abr2012	14:30	0.35	0.16	0.19	18.6	0.0	18.6

**Figura N° 32** Hidrograma de avenida para un periodo de retorno de 100 años



Los resultados obtenidos para diferentes periodos de retorno se presentan en el Cuadro N° 25.

**Cuadro N° 25** Caudales máximos para diferentes periodos de retorno del río Mosna en la zona de Conin

Periodo de retorno T (años)	5	10	25	50	100
Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /s)	41.3	60.3	87.8	110.5	134.7



## **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Algunos puntos que podemos mencionar sobre los resultados obtenidos son los siguientes:

- Se elige el periodo dependiendo de la importancia de la obra y de la vida útil de esta
- Se ha visto por conveniente diseñar la obra para un caudal de 110.50 m<sup>3</sup>/s correspondiente a un periodo de retorno de 50 años
- Resultados parten de información que no es de una estación en la zona de estudio

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- El estudio hidrológico realizado brindo los valores de caudales de diseño necesarios para el diseño del sistema de riego.
- Las descargas máximas probables en la zona en estudio están en el orden de los  $41.3 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $134.7 \text{ m}^3/\text{s}$ , valores que permitirán diseñar la infraestructura para el sistema de riego.

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda instalar una estación hidrométrica y/o pluviométrica en el río Mosna para conocer de manera más exacta las descargas máximas.
- Realizar aforos periódicos en el río Mosna para construir una curva elevación gasto que permita determinar las descargas en el río Mosna a partir de los niveles en el río.



## **BIBLIOGRAFÍA**

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W. - "Hidrología Aplicada".  
McGraw – Hill Interamericana, S.A. Bogotá. Colombia, 1994.

VILLÓN, M. - "Hidrología". Editorial Villón, Lima. Perú. Tercera Edición.  
2011.

VILLÓN, M. - "Hidrología Estadística". Editorial Villón, Lima. Perú.  
Segunda edición. 2002.

VILLÓN, M. - "HEC-HMS". Editorial Villón, Lima. Perú. Segunda edición.  
2010.

CHEREQUE, W. - "HIDROLOGÍA PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA  
CIVIL". Pontificia Universidad Católica del Perú - CONCYTEC, Lima.  
Perú. Segunda Edición.

JIMÉNEZ, H. - "hidrología básica I". Universidad Del Valle, Facultad de  
Ingeniería, Departamento de Mecánica de Fluidos y ciencias Térmicas.  
Publicaciones Facultad de Ingeniería. Segunda Edición, 1986.

## **ANEXOS**

**Fuente RNE OS.060 DRENAJE PLUVIAL URBANO**

**Información Pluviométrica**

Cuando el estudio hidrológico requiera la determinación de las curvas intensidad - duración - frecuencia (IDF) representativas del lugar del estudio, se procederá de la siguiente manera:

- a) Como método alternativo para este último caso pueden utilizarse curvas IDF definidas por un estudio regional. De utilizarse el estudio regional “Hidrología del Perú” IILA – UNI - SENAMHI 1983 modificado, las fórmulas IDF respectivas son las mostradas en las Tablas 3 a y 3 b.

***Fórmula IILA Modificada***

$$i_{(t,T)} = a \cdot (1 + K \cdot \text{Log} T) \cdot (t + b)^{n-1}$$

Para:  $t < 3$  horas

$i$  = Intensidad de la lluvia (mm/hora)

$a$  = parámetro de intensidad (mm)

$K$  = parámetro de frecuencia (adimensional)

$b$  = parámetro (hora)

$n$  = parámetro de duración (adimensional)

$t$  = duración (hora)

$$P_{24} = \varepsilon_g \cdot (1 + K \cdot \log T)$$

$$a = \left( \frac{1}{t_g} \right)^n \cdot \varepsilon_g$$

$P_{24}$  = Máxima Precipitación en 24 horas

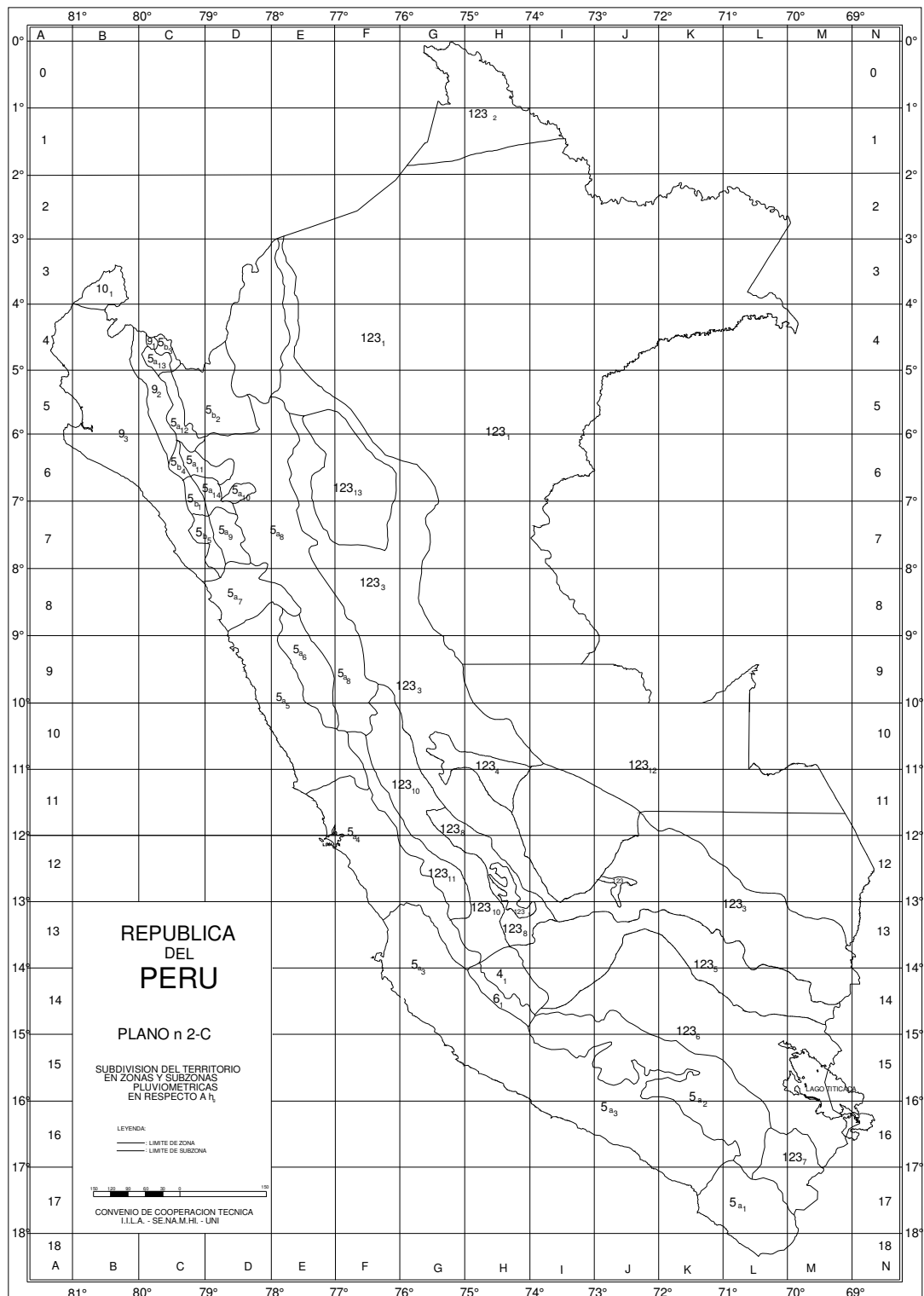
$T$  = tiempo de retorno

$t_g$  = duración de la lluvia diaria, asumido un promedio de 15.2 para Perú.

$K$  =  $K'_g$

$b = 0.5$  horas (Costa, centro y sur)  
0.4 horas (Sierra)  
0.2 horas (Costa norte y Selva)

$\varepsilon_g$  = Parámetro para determinar  $P_{24}$ .



**TABLA 3.a**

**Subdivisión el Territorio en Zonas y Subzonas Pluviométricas y Valores de los Parámetros  
 $K'_g$  y  $\epsilon_g$  que definen la distribución de probabilidades de  $h_g$  en cada punto**

ZONA	$K'_g$	Subzona	$\epsilon_g$
123	$K'_g = 0.553$	123 <sub>1</sub> 123 <sub>2</sub> 123 <sub>3</sub> 123 <sub>4</sub> 123 <sub>5</sub> 123 <sub>6</sub> 123 <sub>7</sub> 123 <sub>8</sub> 123 <sub>9</sub> 123 <sub>10</sub> 123 <sub>11</sub> 123 <sub>12</sub> 123 <sub>13</sub>	$\epsilon_g = 85.0$ $\epsilon_g = 75.0$ $\epsilon_g = 100 - 0.022 Y$ $\epsilon_g = 70 - 0.019 Y$ $\epsilon_g = 24.0$ $\epsilon_g = 30.5$ $\epsilon_g = -2 + 0.006 Y$ $\epsilon_g = 26.6$ $\epsilon_g = 23.3$ $\epsilon_g = 6 + 0.005 Y$ $\epsilon_g = 1 + 0.005 Y$ $\epsilon_g = 75.0$ $\epsilon_g = 70$
4	$K'_g = 0.861$	4 <sub>1</sub>	$\epsilon_g = 20$
5 a	$K'_g = 11. \epsilon_g^{-0.85}$	5 a <sub>1</sub> 5 a <sub>2</sub> 5 a <sub>3</sub> 5 a <sub>4</sub> 5 a <sub>5</sub> 5 a <sub>6</sub> 5 a <sub>7</sub> 5 a <sub>8</sub> 5 a <sub>9</sub> 5 a <sub>10</sub> 5 a <sub>11</sub> 5 a <sub>12</sub> 5 a <sub>13</sub> 5 a <sub>14</sub>	$\epsilon_g = -7.6 + 0.006 Y$ (Y>2300) $\epsilon_g = 32 - 0.177 D_c$ $\epsilon_g = -13 + 0.010 Y$ (Y>2300) $\epsilon_g = 3.8 + 0.0053 Y$ (Y>1500) $\epsilon_g = -6 + 0.007 Y$ (Y>2300) $\epsilon_g = 1.4 + 0.0067$ $\epsilon_g = -2 + 0.007 Y$ (Y>2000) $\epsilon_g = 24 + 0.0025 Y$ $\epsilon_g = 9.4 + 0.0067 Y$ $\epsilon_g = 18.8 + 0.0028 Y$ $\epsilon_g = 32.4 + 0.004 Y$ $\epsilon_g = 19.0 + 0.005 Y$ $\epsilon_g = 23.0 + 0.0143 Y$ $\epsilon_g = 4.0 + 0.010 Y$
5b	$K'_g = 130. \square_g^{-1.4}$	5 b <sub>1</sub> 5 b <sub>2</sub> 5 b <sub>3</sub> 5 b <sub>4</sub> 5 b <sub>5</sub>	$\epsilon_g = 4 + 0.010$ (Y>1000) $\epsilon_g = 41.0$ $\epsilon_g = 23.0 + 0.143 Y$ $\epsilon_g = 32.4 + 0.004 Y$ $\epsilon_g = 9.4 + 0.0067 Y$
6	$K'_g = 5.4 . \square_g^{-0.6}$	6 <sub>1</sub>	$\epsilon_g = 30 - 0.50 D_c$
9	$K'_g = 22.5 . \square_g^{-0.85}$	9 <sub>1</sub> 9 <sub>2</sub> 9 <sub>3</sub>	$\epsilon_g = 61.5$ $\epsilon_g = -4.5 + 0.323 D_m$ (30≤D <sub>m</sub> ≤110) $\epsilon_g = 31 + 0.475(D_m - 110)$ (D <sub>m</sub> ≤110)
10	$K'_g = 1.45$	10 <sub>1</sub>	$\epsilon_g = 12.5 + 0.95 D_m$

Y : Altitud en msnm  
D<sub>c</sub> : Distancia a la cordillera en km  
D<sub>m</sub> : Distancia al mar en km

**TABLA 3.b**  
**Valores de los parámetros a y n que junto con K, definen las curvas de probabilidad**  
**Pluviométrica en cada punto de las subzonas**

SUBZONA	ESTACION	N° TOTAL DE ESTACIONES	VALOR DE n	VALOR DE a
I23 <sub>1</sub>	321-385	2	0.357	32.2
I23 <sub>3</sub>	384-787-805	3	0.405	a = 37.85 - 0.0083 Y
I23 <sub>13</sub>	244-193	2	0.432	
I23 <sub>5</sub>	850-903	2	0.353	
I23 <sub>6</sub>	840-913-918 958	4	0.380	11
I23 <sub>8</sub>	654-674-679 709-713-714 732-745-752	9	0.232	14.0
I23 <sub>9</sub>	769	1	0.242	12.1
I23 <sub>10</sub>	446-557-594 653-672-696 708-711-712 715-717-724 757-773	14	0.254	a = 3.01+ 0.0025 Y
I23 <sub>11</sub>	508-667-719 750-771	5	0.286	a = .46+ 0.0023 Y
5 a <sub>2</sub>	935-968	2	0.301	a= 14.1 - 0.078 D <sub>c</sub>
5 a <sub>5</sub>	559	1	0.303	a = -2.6 + 0.0031 Y
5 a <sub>10</sub>	248	1	0.434	a = 5.80 + 0.0009 Y